

기본연구 2001-06

운송수단별 환경비용 추정과 시사점

2001. 12

신승식



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

머 리 말

지난 10년간 우리나라의 국내 화물수송량은 연평균 6.0%의 견조한 증가율을 보였다. 그러나 운송수단 측면에서 보면 같은 기간동안 도로를 이용한 화물수송량은 연평균 7.2%에 달하고 있어, 우리나라 화물수송의 도로 의존율이 지속적으로 높아져 왔음을 알 수 있다. 국가물류비 측면에서도 도로화물수송비는 1999년 현재 국내 수송비 총계의 95.0%를 차지한 반면, 대체 수송수단인 연안해운과 철도수송의 경우 각각 1.6%와 1.5%라는 극히 미미한 수준을 보이고 있다. 이처럼 국가 수송정책에 있어서 수송수요의 과도한 도로 편중현상으로 인해 2000년 현재 전체 간선도로의 30%에 걸쳐서 극심한 교통체증을 야기하였으며, 이는 추가적인 도로확장 투자를 유발하고 있는 실정이다. 반면 대체 운송시설인 항만과 철도는 수요 부족과 투자 지연으로 시설이 낙후되어 화주의 이용기피가 심화되는 악순환이 지속되고 있어 국가적인 차원에서 자원이용의 효율성이 크게 악화될 개연성이 높은 실정이다.

하지만 일반적으로 도로수송의 증가와 이에 따른 도로 건설의 확장은 대기 오염과 생태계 파괴라는 심각한 환경비용을 야기한다. 환경부에 따르면 1998년 현재 우리나라 연간 대기오염물질의 42.1%가 자동차에 의해 배출되고 있다. 또한 호흡기 질환을 유발하는 일산화탄소의 경우 우리나라 전체 배출량의 90.5%가 자동차에 의해 배출되고 있을 만큼 자동차에 의한 대기오염 피해는 심각한 실정이다. 특히 자동차에 의한 대기오염물질 중 46.5%는 화물운송 트럭이 배출하고 있으며, 이 가운데 81.9%가 컨테이너 수송 등에 이용되는 대형트럭에서 배출되고 있다. 또한 도로의 건설 역시 생태계의 파괴와 산림훼손 등 직접적인 환경피해를 유발한다. 따라서 늘어나는 도로수송수요를 추가적인 도로건설로 수용하는 것은 운행에서 야기되는 대기환경 오염과 건설에서 발생하는 생태계 파괴, 산림훼손 등 다양한 환경피해를 야기할 것이다.

이 연구보고서에서는 우리나라 화물수송량의 90% 이상을 분담하고 있는 대표적 운송수단인 도로수송과 연안 해운의 환경비용을 각각 추정하고, 이를 비교함으로써 국가적인 차원에서 수송 분담율의 변화가 환경비용 개선에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 이 결과를 이용하여 국가적인 차원에서 운송수단별 화물수송의 비합리성을 개선하고 교통시설 투자의

합리적 배분을 위한 정책적 대안을 제시하였다.

이를 위하여 이 연구에서는 다속성효용기법을 교통분야에 처음으로 적용하여 운송수단별로 각 속성이 야기하는 환경오염의 단위비용을 추정하였다. 이 연구의 집필진들은 국내에서 처음으로 교통부문의 운송수단별 환경비용을 추정하였으며, 특히 다속성효용기법을 적용하여 각 속성별 단위가치를 추정하고 이를 지수화할 수 있었던 것을 자랑스럽게 여기고 있다. 이 연구에서 도출된 각 속성별 지수는 타 교통분야에도 적용가능하여 단순계산만으로도 다양한 환경비용 추정이 가능할 것으로 보인다.

그러나 이 연구에서는 여러 가지 제약조건으로 인하여 다양한 사회적 비용 가운데 도로수송과 연안해운에서 야기되는 환경비용만을 조사하였다. 따라서 이 외에도 혼잡비용, 사고비용, 도로파손비용 등과 같은 사회적 비용이 모두 고려된다면 도로수송에 의한 사회적 비용은 이 연구의 결과보다 더 크게 증가될 것임을 지적하고 있다. 따라서 향후에는 보다 다양한 운송수단에 대하여 각각의 사회적 비용을 추정하고 이를 상호 비교함으로써 환경비용을 줄이고 국가자원을 합리적으로 이용토록 경제주체의 행위를 유인하는 국가 교통정책의 수립이 필요하다고 하겠다.

이 보고서의 집필진들은 연구수행과정에서 많은 조언을 해 주신 경희대학교의 이상규 교수, 여수대학교의 박병인 교수, 교통개발연구원의 신동선 박사 그리고 대한통운의 한덕식 부장님께 깊은 사의를 표하고 있으며, 연구의 질적 향상을 위해 조언을 아끼지 않으신 우리 원의 임진수 항만연구실장, 조동오 환경안전연구실장께도 깊은 감사를 드린다. 그렇지만 이 연구에서 나타날 수 있는 오류는 어디까지나 필자들의 책임임은 물론이다.

아무쪼록 이 보고서의 내용이 운송수단에 의해서 발생하는 환경피해를 줄이고 수송수단들 간의 균형 있는 발전을 통해 국가자원의 합리적 이용을 도모하는 데 기초자료로 활용되기를 바란다.

끝으로 본 연구보고서의 내용은 어디까지나 필자 개인들의 의견이며, 본 개발원의 공식견해가 아님을 밝혀둔다.

2001년 12월

韓國海洋水產開發院
院 長 李 廷 旭

목 차

<요 약>	1
제1장 서 론	15
1. 연구의 배경 및 목적	15
2. 연구의 범위	17
3. 연구의 방법	17
1) 연구방법론 / 17	
2) 연구 흐름도 / 19	
제2장 운송수단에 있어서 환경비용 적용의 필요성	20
1. 운송수단의 환경오염 유발 현황	20
1) 도로운송수단의 환경 오염 유발 현황 / 23	
2) 해상운송수단의 환경오염 유발 현황 / 26	
2. 운송수단의 환경오염 피해 유발 현황	29
1) 인체에 미치는 피해 / 29	
2) 자연환경에 미치는 피해 / 34	
3. 운송수단에 있어서 환경비용 추정의 경제학적 의의	37
1) 운송수단의 사회적 비용 / 37	
2) 환경비용 내부화의 경제적 의미 / 39	
4. 운송수단의 환경비용 추정에 대한 국내외 사례	41
1) 외국의 연구사례 / 41	
2) 국내 연구사례 / 44	
제3장 운송수단의 환경비용 추정	47

1. 기존 환경비용 추정방법론 및 한계점	47
1) 환경비용 추정방법론의 발전 과정 / 47	
2) 최근의 비시장재화 가치추정 방법론 / 49	
3) 기존 가치추정 방법론의 한계점 및 대안 / 58	
2. 다속성효용기법(MAUA)을 이용한 환경비용 추정	61
1) 이론적 개요 / 61	
2) 실증연구 및 결과 / 69	
 제4장 환경비용을 고려한 바람직한 운송수단 유인정책	84
1. 도로와 연안해운의 수송비 분석	84
1) 국가물류비용 측면에서의 분석 / 84	
2) 우리나라의 컨테이너 화물 운임 비교 / 90	
3) 운송수단간 운임 차이의 경제적 의미 / 93	
2. 환경비용을 고려한 도로와 연안해운의 수송비 분석	95
3. 운송수단별 환경비용 산출의 시사점	97
 제5장 결 론	102
 참고문헌	104
 부록 1 : 속성의 가중치 도출을 위한 설문	108
부록 2 : 개인별 단일 속성 효용함수	137

표 목 차

<표 요약-1> 트럭과 선박의 톤-Km당 대기오염 배출량(1998년 기준) ...	3
<표 요약-2> 네 가지 가치추정 방법론	7
<표 요약-3> 환경부문의 가치추정 방법론 적용가능성	8
<표 요약-4> 속성, 속성평가단위, 속성수준의 범위	9
<표 요약-5> 속성별 가중치	10
<표 요약-6> 속성당 화폐가치, 속성단위당 화폐가치, 속성당 환경비용 추정치	11
<표 요약-7> 도로수송과 연안해운의 단위당 연간 환경비용	12
<표 요약-8> 서울-부산간 1TEU 화물수송의 운송수단별 환경오염비용	13
<표 II-1> 우리나라의 배출원별 이산화탄소(CO ₂) 배출 추이	22
<표 II-2> 오염물질별 자동차 배출가스량(1998년 기준)	23
<표 II-3> 우리나라 대도시의 자동차에 의한 대기오염 비중(1998년)	24
<표 II-4> 자동차의 연료별 대기오염물질 배출량 및 기여도(1998년)	24
<표 II-5> 자동차의 차종별 대당 연간 대기오염물질 배출량(1998년)	25
<표 II-6> 자동차의 차종별 연간 대기오염물질 배출 비율	26
<표 II-7> 우리나라의 육상 및 해상의 대기오염물질 배출량(1998년)	28
<표 II-8> 육상 및 해상부문의 수송 톤당 대기오염 배출량(1998년)	28
<표 II-9> 트럭과 선박의 톤-Km당 대기오염 배출량(1998년 기준) ...	29
<표 II-10> 운송수단 발생 대기오염물질이 인체에 미치는 영향	30
<표 II-11> 급격한 대기오염에 따른 대규모 초과사망 사건	31
<표 II-12> 대기오염물질 10% 증가에 따른 초과사망자 추정비교	32
<표 II-13> 대기오염물질 10% 증가에 따른 질병위험 증가추정치	32
<표 II-14> 천식발생건수와 대기오염농도와의 상관관계	33
<표 II-15> Weigel 등(1990)의 농업생산 농도-반응함수 추정식	35
<표 II-16> 황산화물에 의한 재료피해 순위	36
<표 II-17> 대기오염물질별 시정 장애 기여율	37
<표 II-18> 교통부문의 사회적 비용	38
<표 II-19> 운송에 의한 오염발생비용	42

<표 II-20> 독일에서 육상교통수단의 사회적 비용(1993)	42
<표 II-21> 미국에서의 자동차에 의한 사회적 비용(1990~1991)	43
<표 II-22> 미국과 유럽에서 소음의 사회적 비용 추정	44
<표 III-1> 네 가지 가치추정 방법론	50
<표 III-2> 환경부문의 가치추정 방법론 적용가능성	60
<표 III-3> 다속성효용이론(MAUT)과 다속성효용평가(MAUA)의 비교	62
<표 III-4> 최종속성집합 및 범위	70
<표 III-5> 속성의 중요도 순위형태	78
<표 III-6> 속성에 할당된 가중치 형태	79
<표 III-7> 속성별 가중치	80
<표 III-8> 속성당 화폐가치	81
<표 III-9> 속성단위당 화폐가치	82
<표 III-10> 육상과 해상의 운송수단에 의한 속성별 환경비용 추정치	83
<표 IV-1> 우리나라 국가물류비 추이	84
<표 IV-2> 수송수단별 수송비용	85
<표 IV-3> 운송수단별 국내수송비 점유율 추이	86
<표 IV-4> 국내 운송수단별 톤당 평균수송비 추이(명목금액 기준)	87
<표 IV-5> 국내 운송수단별 톤당 평균수송비 추이(1990년 실질금액)	88
<표 IV-6> 국가별 GDP대비 국가물류비 추이	89
<표 IV-7> 국가별 GDP대비 수송비 추이	89
<표 IV-8> 국가간 톤-Km당 수송비용 비교	90
<표 IV-9> 운송수단간 운송요금의 구성요소	91
<표 IV-10> 운송수단간 운송요금의 구성요소(부산항 ⇒ 서울)	92
<표 IV-11> 운송수단간 운송요금의 구성요소(광양항 ⇒ 서울)	93
<표 IV-12> 부산항 컨테이너화물의 수송수단별 분담율(2000년)	93
<표 IV-13> 연안운송서비스의 질을 낮게 하는 이유	94
<표 IV-14> 수도권 화물에 대한 운송수단별 최저 소요시간	94
<표 IV-15> 운송시간 단축에 대한 화주들의 최대 지불의사(WTP)	95
<표 IV-16> 도로수송과 연안해운의 단위당 연간 환경비용	96

그 립 목 차

<그림 요약-1> 교통부문에 외부 비용이 발생할 경우의 균형	5
<그림 II-1> 우리나라의 발생원별 대기오염물질 배출비율(1998년) ..	22
<그림 II-2> OECD에서 분류한 소음의 예시	34
<그림 II-3> 교통부문에 외부 비용이 발생할 경우의 균형	40
<그림 III-1> 순환되는 수질 개선을 통한 편익의 발생 과정	56
<그림 III-2> 순환되는 대기질 개선을 통한 편익의 발생 과정	57

<요 약>

제1장 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

- '99년 현재 국내화물수송량 5억 6,734만톤 중 4억 118만톤이 도로를 이용하여 수송되어 국내화물의 도로수송 부담율이 70.7%에 달함.
- '90년 이후 도로수송 화물은 연평균 7.2% 증가하여 국내 화물수송량의 연평균 증가율 6.0%를 상회
- 국가물류비 측면에서도 도로화물 수송비는 '99년 현재 국내 수송비 총계의 95.0%를 차지
- 국내 수송수요의 과중한 도로편중 현상은 전체 간선도로의 30%에 국한된 교통체증을 야기하고 추가적인 도로건설 투자를 유발
- 건설교통부가 발표한 「제1차 중기교통시설 투자계획(2000~2004)」에 따르면 2004년까지 고속도로(24조원)와 국도 건설(28조원)에 총 55조원을 투자할 계획이며, 2010년까지 116조원으로 확대
- 반면 대체 운송수단인 항만 건설에는 2004년까지 9조원, 2010년까지 총 17조원의 투자에 그칠 계획
- 그러나 도로수송의 증가와 도로 건설의 확장은 대기오염과 생태계 파괴라는 심각한 환경비용을 야기
- '98년 현재 우리나라 대기오염물질의 42.5%가 자동차에 의해 배출되며, 이중 46.5%는 화물트럭이 방출
- 따라서 늘어나는 도로수송 수요를 추가적인 도로건설로 수용하는 것은 운행증가에 따른 환경오염 악화와 건설과정에서 야기되는 자연환경 피해를 초래
- 경제적인 측면에서 환경비용 등 사회적 비용을 고려하지 않을 경우 사적 비용이 사회적 비용보다 크게 낮아 사회적으로 바람직한 가격

과 공급량보다 더 낮은 가격에 더 많은 양을 공급

- 이는 단기적으로 관련경제주체들의 잉여를 증가시키지만 장기적으로는 경제의 효율성 저하와 환경자원의 착취라는 부정적 결과를 초래하여 국민경제의 부담으로 환원
- 이 연구에서는 특정 환경속성만의 환경비용을 추정해온 그 동안의 방법을 지양하고 속성 전반에 대해 도로수송과 연안해운 각각의 총 환경비용을 추정하고 이를 비교하여,
 - 국가적인 차원에서 도로수송과 연안 해운의 수송분담을 변화가 환경비용 개선에 미치는 영향을 분석하고,
 - 연안 해운 활성화와 교통시설투자의 합리적 배분을 위한 정책적 대안 제시하고자 함.
- 이와 함께 방법론적 측면에서 운송수단별로 환경적 속성을 지수화할 수 있는 다속성효용기법(MAUA)을 교통분야에 처음으로 적용

2. 연구의 범위 및 방법

- 연구범위
 - 연구의 내용적 범위는 국내화물의 90% 이상을 분담하는 도로화물수송과 연안 해운으로 국한
 - 환경비용의 추정범위도 운행에 의한 환경비용 추정에만 한정
- 연구방법
 - 문헌조사·분석 : 국가물류비 산정 자료 및 국내외 환경비용추정 관련문헌을 조사·분석
 - 설문조사 : 운송수단별 환경비용을 추정을 위해 물류전문가와 환경전문가를 대상으로 속성에 대한 설문조사 수행
 - 실증분석 : 다속성효용이론을 이용한 속성별 환경비용 추정

제2장 운송수단에 있어서 환경비용 적용의 필요성

1. 운송수단의 환경오염 유발 현황

- 우리나라의 경우 수송부문에서 발생하는 대기 오염물질의 배출량은 1998년 현재 191만톤으로 총 배출량 377만톤의 50.8%
- 도로운송수단
 - 도로 수송에서 발생하는 대기오염물질 배출량은 전체 수송부문 배출량 191만톤의 81.2%인 155만톤
 - 차종별 대기오염 배출량 비율을 보면 트럭과 승용차가 각각 46.5%와 38.8%를 차지하여 두 차종이 자동차 대기오염의 대부분을 차지
 - 특히 질소산화물(NOx)과 미세먼지(PM)의 경우 대형트럭에서 배출되는 양이 전체 자동차에서 배출되는 양의 50%를 차지하여 대형트럭에 의한 대기오염물질 배출은 심각한 수준
- 해상운송수단
 - 우리나라 해상수송부문에서 배출되는 대기오염물질은 수송부문 대기오염물질의 19.0%에 해당하는 36만톤으로 추정
 - 이산화황(SO₂)의 경우 수송부문에서 발생하는 전체 이산화황 29만5천톤의 98.3%에 해당하는 29만톤을 배출
 - 톤당 대기오염물질 배출량의 경우 선박부문이 트럭부문에 비해 2배 정도 높은 반면, 톤-Km당으로는 트럭부문이 선박부문에 비해 7배 수준 높음.

〈표 요약-1〉 트럭과 선박의 톤-Km당 대기오염 배출량(1998년 기준)

단위 : g/톤-Km

	계	SO ₂	NO _x	TSP	CO	HC
계	25.3	6.9	8.0	1.5	7.8	1.1
트럭	76.8	0.5	31.5	5.8	34.6	4.4
선박	10.8	8.6	1.4	0.3	0.4	0.2

자료 : 환경부의 「환경백서 2000」과 건설교통부의 「건설교통통계연보 2000」에 의거
KMI 작성

2. 운송수단의 환경오염 피해 유발 현황

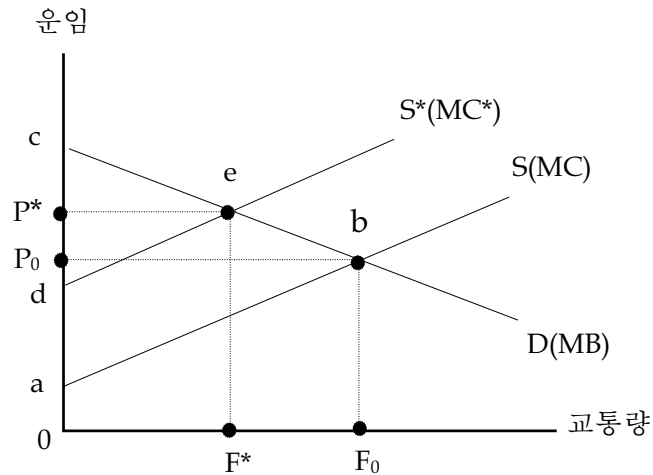
- 차량과 선박 등 운송수단은 소음, 대기질, 수질, 자연경관, 생태계(종 다양성), 문화유산 등의 다양한 손실을 야기(영국 교통환경부)

- 영국의 경우 교통정책에 있어서 환경개념을 새로이 정착시키기 위해 「교통에 있어서 뉴딜정책(A New Deal for Transport)」 추진
- 인체에 미치는 영향
 - 대기오염 : 특정지역 대기의 급격한 악화로 인한 사망자 수의 증가와 호흡기관련 질병환자의 증가
 - 소음 : 스트레스의 증가, 순환기와 소화기 장애, 수면장애 그리고 청각장애 유발
- 자연환경에 미치는 영향
 - 산림피해 : 대기오염물질로 인한 산림의 생육지연 및 고사현상
 - 농업피해 : 대기오염물질로 인한 농작물의 생육지연 및 결실 실패
- 생활환경이 미치는 영향
 - 재료피해 : 대기오염물질로 인한 건축재료의 수명연한 감소
 - 가시거리 피해 : 광화학스모그로 인한 가시거리의 감소

3. 운송수단에 있어서 환경비용 추정의 경제학적 의의

- 운송수단의 사회적 비용
 - 사회적 비용 : 특정 경제주체가 특정 재화 또는 서비스의 생산에 따라 해당 경제주체를 포함하여 사회 전체가 지불하는 비용
 - 사적비용 : 특정 재화 또는 서비스의 생산과정에서 인건비, 원자재 구입비 등 해당 경제주체만이 지불하는 비용
 - 교통부문의 사회적 비용 : 차량운행비용, 교통시설비용, 교통사고비용, 환경오염비용, 교통혼잡비용
- 환경비용 내부화의 경제적 의미
 - 사회적으로 바람직한 운임과 공급량은 <그림 요약-1>의 $e(P^*, F^*)$ 점이지만 개별 기업의 사적비용은 사회적인 비용보다 낮은 수준인 $b(P_0, F_0)$ 점
 - 외부 비용을 내부화(internalize) 할 경우 산업내의 총 잉여는 $\triangle abc$ 에서 $\triangle dec$ 로 줄어들지만 $\square abed$ 만큼 산업 전반의 효율성이 제고되고 환경자원의 착취 및 비용발생이 개선

〈그림 요약-1〉 교통부문에 외부 비용이 발생할 경우의 균형



4. 운송수단의 환경비용 추정에 대한 국내외 사례

○ 외국 연구사례

- 1980년대에 유럽에서 실시된 운송수단별 오염비용 추정 결과는 공로수송이 철도와 해상운송에 비해 국가별로 1~5배정도 높게 나옴.
- 1993년 독일에서 조사된 육상운송수단별 오염의 사회적 비용 추정에서는 트럭이 전철의 3배, 철도의 2배 정도 높게 나옴.
- 2000년 미국의 델루치에 의한 연구는 1990~1991년 사이 자동차에 의해 발생하는 총 사회적 비용 가운데 2~16%가 환경오염에 의한 것이며, 순수 외부비용만을 고려할 경우 36~64% 수준
- 1980년대 이후 미국과 유럽에서 피해함수추정방법을 이용하여 계산한 소음의 사회적 비용은 국민총생산의 0.1~1.0% 수준

○ 국내 연구사례

- 임영식·전영섭·나성린(1993)은 서울시내 가구 665가구의 속성자료를 이용하여 헤도닉기법으로 오존의 단위 ppm당 환경비용 계산
- 조준모(1996)는 복용반응관계(Dose-Response Relation)를 이용하여 이산화질소(NO_2)의 배출량과 호흡기질환 발생자 수의 상관관계를 구한 후 재산 및 동식물에 대한 피해비용을 추정

- 엄영숙(1998)은 전국에서 표본추출된 6,791가구의 2만 2,450명에 대한 면접조사를 통해 이들이 호흡기 질환 증상을 감소시키기 위해 지불하는 완화비용을 통해 오존오염 감소의 한계편익을 계산
- 홍갑선(1999)은 조준모(1996)의 연구결과를 활용하여 교통관련 사회적비용을 간접적으로 추정
- 이성원·이영미(2000)는 교통부문에서 발생하는 환경피해의 화폐적 환산을 위한 방법론을 분석하고 시범추정을 시도

제3장 운송수단의 환경비용 추정

1. 기존 환경비용 추정방법론 및 한계점

- 환경비용 추정방법론의 발전 과정
 - 비시장재화에 대한 가치평가는 호텔링과 사무엘슨의 분석에 기초
 - 호텔링과 사무엘슨은 각각 소비자잉여와 생산자잉여의 합을 극대화하는 것이 적절한 후생기준이며, 공공재의 가치평가는 개별수요곡선의 수직적 총합에 기초해야 한다고 주장
 - 비시장재화에 대한 초기의 가치평가 방법은 피해함수 접근법으로 이것은 1단계로 환경오염 등에 의한 피해의 물리적 관계를 설정하고, 2단계로 이것의 화폐적 가치를 계산
 - 피해함수 접근법의 가장 큰 단점은 오염증가에도 불구하고 경제적 주체의 행위가 변하지 않는다고 가정하는 것
- 최근의 비시장재화 가치추정 방법론
 - 미첼과 칼슨의 구분에 따라 첫째, 관측자료가 사람들의 실제 행위에 대한 관찰에 의한 것인가 혹은 가설적인 상황에 대한 설문을 통해 얻어지는가의 여부, 둘째, 화폐적 가치가 직접 유도되는가 혹은 다른 변수를 통해 간접적으로 추정되는가의 여부 등에 의해 4가지로 분류
- 기존 가치추정 방법론의 한계점 및 대안
 - 기존의 여행비용법, 헤도닉모형 등과 같은 가치추정방법은 여러 속성추정에서 개별속성의 수만큼 추정을 반복해야 하는 문제점 발생

- 이러한 모든 속성에 대해 적용이 가능한 방법론을 조건부가치측정법(CVM)과 다속성효용평가법(MAUA)이 제시

〈표 요약-2〉 네 가지 가치추정 방법론

행위의 발생 화폐가치	실제 행위	가설적 질문
직접적	(직접 관찰) 경쟁시장 가격 모의시장	(직접 가설) 조건부가치평가법 다속성효용평가법
간접적	(간접 관찰) 여행비용접근법 헤도닉가격모형 회피행동모형 국민투표	(간접 가설) 조건부 순위 조건부 행위 조건부 투표

자료 : Mitchell and Carson(1989), p.75.

2. 다속성효용기법을 이용한 환경비용 추정

○ 이론적 개요

- 1단계(속성의 결정) : 연구목적을 명확히 하고 이와 관련된 속성들을 결정하는 단계
- 2단계(속성수준의 정량화) : 선택된 속성에 대한 잠재적인 범위를 최저에서 최대까지 설정하는 단계
- 3단계(가정의 적절성 확인) : 일련의 공리에 근거하여 개별 속성에 대한 효용함수들을 체계적인 형태로 결합함으로써 속성들이 의미하는 바를 명확히 하는 단계
- 4단계(단일속성효용함수 도출) : 다속성효용함수의 구성요소인 단일속성효용함수의 적합한 형태를 결정하는 단계
- 5단계(속성의 중요성 평가) : 여러 속성의 상대적 중요성에 대한 의사결정자의 태도를 결정하는 단계
- 6단계(다속성효용함수 구성) : 종합목표에 개별속성들이 얼마나 기여하는가를 나타내는 일종의 지수를 개발하는 단계
- 7단계(WTP 계산과정) : 위의 6단계를 통해 다속성효용함수를 구한 이후 CVM의 설문기법을 이용하여 응답자들로부터 WTP를 도출해내는 과정

〈표 요약-3〉 환경부문의 가치추정 방법론 적용가능성

환경재	영향범주	가치추정기법				
		HPM	TCM	ABM	CVM	MAUA
대기질	사망률(mortality)	△	△	○	○	○
	질병률(morbidity)	△	△	○	○	○
	시정거리(visibility)	○	○	×	○	○
	농업생산감소	○	×	△	○	○
	먼지피해	×	×	○	○	○
	산림훼손	×	△	×	○	○
	재료피해	×	×	△	○	○
	기후변화	×	×	×	○	○
수질	음용수(사망률, 질병률)	△	×	○	○	○
	수산물(스톡)	×	×	△	○	○
	생태계(종의 감소)	×	×	×	○	○
	외형미(악취, 탁도)	○	△	○	○	○
	낚시	△	○	×	○	○
	물놀이	△	○	×	○	○
자연 환경	습지(wet land)	×	○	×	○	○
	국립공원(National Park)	×	○	×	○	○
	갯벌	×	○	×	○	○
	철새도래지	×	○	×	○	○
	천연기념물(광릉 크낙새)	×	○	×	○	○
	사막(desert)	×	○	×	○	○
	바닷가에 인접한 발전소	○	×	×	○	○
쓰레기 처리	쓰레기 매립장	○	×	×	○	○
	쓰레기 야적장	○	×	×	○	○
	쓰레기 소각장	○	×	×	○	○
기타	토양오염	×	×	×	○	○
	소음	○	×	○	○	○
	유류 유출 해상오염	△	×	×	○	○
	솔잎혹파리 방제	△	×	×	○	○

주 : 1) ○ : 적용 가능, △ : 사례가 없거나 제한적 적용 가능, × : 적용 불가능

2) HPM : 헤도닉가격기법, TCM : 여행비용접근법, ABM : 회피행동분석법,
CVM : 조건부가치측정법, MAUT : 다속성효용기법

○ 실증연구 및 결과

- 최종속성집합 결정 : 속성간의 독립, 가급적 적은 수, 설명 또는 묘사 가능, 응답자에게 유의미와 같은 속성결정 원칙 아래 선택

〈표 요약-4〉 속성, 속성평가단위, 속성수준의 범위

속 성		최저 수준	최고 수준	단위
1.1 산림피해	여의도 면적(300ha)의 배수로 표현된 산림 피해면적(우리나라 전체 산림면적의 1%=여의도 면적의 215배)	200	0	배
1.2 농업피해	채소, 과수 등을 포함한 연간 농업생산물의 피해	20	0	%
1.3 어업피해	어선업, 양식업 등을 포함한 연간 수산업생산물의 피해	20	0	%
1.4 재료피해	금속, 대리석, 시멘트, 페인트, 의류 등을 포함한 재료의 수명 감소	20	0	%
1.5 가시거리 피해	가시거리 감소(40km=남산타워에서 인천 앞바다가 보이는 거리)	40	5	km
1.6.1 사망률	현재수준을 초과하여 추가적으로 발생하는 연간 호흡기질환(주로 폐암) 사망자수	100	0	건/ 100만명/ year
1.6.2 질병률	현재수준을 초과하여 추가적으로 발생하는 연간 호흡기질환(주로 폐질환) 환자수	10,000	0	건/ 100만명/ year
2. 수질오염	연간 사고로 인해 육상과 해상으로 유출되는 기름의 양	1,500	0	kl
3. 소음	일반도로변지역에서 측정한 낮과 밤의 소음 정도	75	55	dB(A)
4. 지구온난화	연간 발생하는 이산화탄소량	15	0	백만TC/ year

- 속성별 가중치의 순위

- 전체(육상+해상) : 사망률→질병률→수질오염→지구온난화→소음
→산림피해→농업피해→어업피해→가시거리피해→재료피해
- 육상: 사망률→질병률→지구온난화→소음→산림피해→농업피해→가시거리피해→수질오염→재료피해→어업피해
- 해상 : 수질오염→어업피해→사망률→질병률→지구온난화→산림피해→소음→가시거리피해→농업피해→재료피해

〈표 요약-5〉

속성별 가중치

순 위	도로 수송		연안 해운		도로와 해운	
	속성	가중치	속성	가중치	속성	가중치
1	사망률	0.22516	수질오염	0.29414	사망률	0.19692
2	질병률	0.18501	어업피해	0.17093	질병률	0.16280
3	지구온난화	0.11785	사망률	0.12531	수질오염	0.13000
4	소음	0.11115	질병률	0.10647	지구온난화	0.11382
5	산림피해	0.08988	지구온난화	0.10361	소음	0.09306
6	농업피해	0.08430	소음	0.04721	산림피해	0.07587
7	수질오염	0.06526	가시거리피해	0.04061	농업피해	0.06980
8	가시거리피해	0.06308	산림피해	0.04037	어업피해	0.06052
9	재료피해	0.04135	재료피해	0.03828	가시거리피해	0.05673
10	어업피해	0.01696	농업피해	0.03307	재료피해	0.04048

- 속성당 화폐가치

- 순위는 속성별 가중치 순위와 동일
- 전체(도로+해운) 최고값 : 사망률 → 47,260원
- 전체(도로+해운) 최저값 : 재료피해 → 9,716원
- 최고값과 최저값의 차이는 대략 4.9배

- 속성단위당 화폐가치

- 전체(도로+해운) 최고값 : 지구온난화 → 1,821.1원
- 전체(도로+해운) 최저값 : 질병률 → 3.9원
- 최고값과 최저값의 차이는 대략 460배
- 전체(도로+해운) : 지구온난화→소음→농업피해→어업피해→재료피해→사망률→가시거리피해→산림피해→수질오염→질병률
- 육상 : 지구온난화→소음→농업피해→사망률→재료피해→가시거리피해→어업피해→산림피해→수질오염→질병률
- 해상 : 어업피해→지구온난화→소음→재료피해→농업피해→사망률→가시거리피해→산림피해→수질오염→질병률

- 속성당 환경비용

- 순위는 속성별 가중치 순위와 동일
- 전체(도로+해운) 최고값 : 사망률 → 6,801억원
- 전체(도로+해운) 최저값 : 재료피해 → 1,398억원
- 최고값과 최저값의 차이는 대략 4.9배

〈표 요약-6〉 속성당 화폐가치, 속성단위당 화폐가치, 속성당 환경비용 추정치

순위	속성당 화폐가치		속성단위당 화폐가치		속성당 환경비용	
	속성	원	속성	원	속성	백만원
1	사망률	47,260	지구온난화	1,821.1	사망률	680,132
2	질병률	39,071	소음	1,116.7	질병률	562,279
3	수질오염	31,201	농업피해	837.7	수질오염	449,017
4	지구온난화	27,317	어업피해	726.2	지구온난화	393,131
5	소음	27,317	재료피해	485.8	소음	321,421
6	산림피해	18,209	사망률	472.6	산림피해	262,058
7	농업피해	16,754	가시거리피해	389.0	농업피해	241,118
8	어업피해	14,524	산림피해	91.0	어업피해	209,016
9	가시거리피해	13,614	수질오염	20.8	가시거리피해	195,930
10	재료피해	9,716	질병률	3.9	재료피해	139,828
계	240,000		5,964.8		3,453,930	

제 4 장 환경비용을 고려한 바람직한 운송수단유인 정책

1. 도로와 연안해운의 수송비 분석

- 운송수단별 수송비 분석
 - 1999년도 국가물류비 가운데 도로화물수송비는 국내수송비의 95.0%로 대부분을 차지
 - 톤당 평균수송비는 도로화물의 경우 1990년의 톤당 4만 5,964원에서 1999년에는 톤당 9만 1,107원으로 1.98배, 연평균 7.9% 증가
 - 해상화물의 경우는 1990년의 톤당 4,123원에서 9년동안 752원 오르는데 그쳤으며, 연평균 증가율도 1.9%로 미미한 수준
 - 실질금액으로 볼 때 해상화물의 경우 1990년에 비해 오히려 1,100원 하락하였으며, 1992년 이후 지속적으로 하락세
- 미국 및 일본과의 비교
 - 1999년 현재 우리나라의 GDP대비 국가물류비는 16.3%에 이르고 있는 반면 미국과 일본은 9%대를 유지하고 있어 우리나라의 국가

물류비 비율이 미국 등 선진국에 비해 크게 높은 실정

- 우리나라와 일본, 미국과의 톤-Km당 수송비를 비교하면 우리나라가 선진국에 비해 수송비용이 다소 낮은 것으로 판단
- 우리나라 컨테이너 화물 운임 비교
 - 연안해송은 구성요소가 복잡함에도 불구하고 도로운송에 비해 20FT 컨테이너의 경우 약 17만원, 40FT 컨테이너의 경우 약 15만원 정도 운송비가 절감
 - 이러한 운임차이에도 불구하고 부산항에 반출입되는 컨테이너 화물의 대부분인 84.8%가 도로수송을 이용
 - 대부분의 수출입 화주들이 연안해송보다 도로수송을 선호하는 가장 중요한 이유는 운송시간과 정시성 때문

2. 환경비용을 고려한 도로와 연안해운의 수송비 분석

- 도로수송과 연안해송에서 발생하는 총 환경비용은 3조 4,539억원
 - 도로수송 : 2조 4,317억원(70.4%), 연안해송 : 1조 220억원
 - 톤당 환경비용은 연안해송이 도로수송보다 더 높음.
 - 도로수송 → 6,062원, 연안해송 → 8,269원
 - 톤-Km당 환경비용은 도로수송이 연안해송의 약 8.7배
 - 도로수송 → 262원, 연안해송 → 30원

〈표 요약-7〉 도로수송과 연안해운의 단위당 연간 환경비용

구 분	도로수송	연안 해운
환경비용	2조 4,317억원	1조 220억원
톤당 환경비용	6,062원	8,269원
톤-Km당 환경비용	264원	30원

- 1 TEU 화물을 서울에서 부산으로 운송하는데 있어서 도로수송을 연안해운으로 전환할 경우 환경오염 개선 편익은 약 139만원

〈표 요약-8〉 서울-부산간 1 TEU 화물수송의 운송수단별 환경오염비용

구 분	도로수송	연안 해운
1 TEU	17톤	17톤
TEU-Km당 환경비용	4,481원	516원
수송거리(서울-부산)	426.3Km	도로 : 23.9Km 해운 : 805.6Km
1 TEU 수송의 환경비용	1,910,080원	522,432원
환경비용 차이	1,387,648원	

3. 운송수단별 환경비용 산출의 시사점

- 국가적 측면에서 운송수단별 화물수송 분담의 비합리성 제고
 - 이론적 최선(first best): 도로수송과 연안해운 모두에 적절한 정부규제 혹은 가격정책을 통해 사회적으로 바람직한 수준의 공급 유인
 - 장점 : 환경적 측면에서 발생하는 사회적비용 제거 가능
 - 단점 : 국가 물류기능 마비 위험 ⇒ 현실적인 최선은 아님
 - 현실적 차선(second best): 도로수송 화물 가운데 연안해운으로 전환이 가능한 화물을 우선적으로 전환
 - 장점 : 도로수송과 연안해운의 환경비용 차이만큼 오염비용 절감
- 교통시설투자의 합리적 배분 필요
 - 통상적으로 도로, 철도, 공항, 항만 등 대규모 사회간접자본시설의 건설은 이용하는 운송수단의 환경오염 유발 뿐 아니라 교통시설 건설에 따라 해당지역의 경관과 생태계의 대규모 파괴를 야기
 - 해운에 비해 톤-Km당 8.7배나 높은 환경오염비용을 발생시키는 도로의 건설보다는 항만의 건설을 통하여 육상 수송수요를 해상으로 전환하는 것이 환경친화적이며, 사회적 비용을 극소화하는 정책
- 추가적인 사회적 비용의 검토 필요
 - 교통의 사회적 비용에는 환경비용 외에도 교통혼잡비용, 연료비용, 도로파손비용, 교통사고비용 등이 있으며, 이들이 모두 고려될 경우 도로수송과 해상운송의 사회적 비용은 크게 증가할 것임.

제5장 결 론

- 화물운송에 의해 발생하는 연간 환경오염비용은 총 3조 4,539억원
 - 컨테이너 수송의 환경비용은 TEU-Km당 도로수송은 4,481원, 연안해운은 516원 발생
 - 서울-부산간 1 TEU 컨테이너 수송을 도로수송에서 연안해운으로 전환할 경우 약 139만원의 환경비용 절감
- 교통시설의 배분에 있어서도 교통수단간 여건을 종합적으로 고려한 합리적 배분이 필요
 - 늘어나는 도로교통수요를 도로 건설로만 해결할 것이 아니라 교통수단간 다양한 분담을 조정으로 흡수
 - 교통수단간 합리적 시설배분은 장기적으로 환경비용이 국민에게 되돌아오는 부메랑효과를 극복할 수 있는 수단
- 이 연구에서 다루지 못한 운송시설의 건설에서 야기되는 환경비용을 포함할 경우 환경비용은 현재의 추정치보다 크게 증가할 것으로 판단됨.

제 1 장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1999년 현재 우리나라의 국내 화물수송량은 5억 6,734만톤이며, 이 가운데 70.7%인 4억 118만톤이 도로를 이용하여 수송되었다. 특히 화물트럭에 의한 도로수송은 1990년 이후 연평균 7.2%의 증가율을 보이고 있어 같은 기간동안 국내 화물수송량의 연평균 증가율 6.0%를 웃돌고 있으며, 타 수송수단에 비해서도 압도적인 증가율을 보이고 있다. 국가물류비 측면에서 볼 때에도 도로화물수송비는 1999년 현재 국내 수송비 총계의 95.0%를 차지한 반면, 대체 수송수단인 연안해운과 철도수송의 경우 각각 1.6%와 1.5%라는 극히 미미한 수준을 보이고 있다. 국가 수송정책에 있어서 수송수요의 과도한 도로 편중현상은 전체 간선도로의 30%에 극심한 교통체증을 야기하여 추가적인 도로확장 투자를 유발하는 반면, 대체 운송시설인 항만과 철도는 수요 부족과 상대적인 투자 지연으로 시설이 낙후되어 화주의 이용기피가 더욱 심화되는 악순환이 지속되는 등 국가자원배분의 효율성이 크게 악화될 개연성이 높은 실정이다.

실제로 건설교통부가 2001년 3월에 발표한 「제1차 중기교통시설 투자계획(2000~2004)」에서도 국내 여객 및 화물의 도로수송수요가 2004년에는 1997년 대비 110% 증가할 것으로 보고 있다. 이를 수용하기 위해 2004년까지 고속도로 건설에 24조원, 일반국도 건설에 28조원 등 총 55조원의 재원을 투자할 계획이며, 2010년까지 투자규모를 116조원으로 확대할 계획이다. 반면 대체 운송수단인 항만 건설에는 2004년까지 9조원, 2010년까지 총 17조원의 투자에 그칠 계획이다.

일반적으로 도로수송의 증가와 이에 따른 도로 건설의 확장은 대기 오염과 생태계 파괴라는 심각한 환경비용을 야기한다. 환경부에 따르면 1998년 현재 우리나라 연간 대기오염물질의 42.1%가 자동차에 의해 배출되고 있으며, 호흡기 질환을 유발하는 일산화탄소의 경우 우리나라 전체 배출량의 90.5%가 자동차에 의해 배출되고 있을 만큼 자동차에 의한 대

기오염 피해는 심각한 실정이다. 특히 자동차에 의한 대기오염물질 중 46.5%는 화물운송 트럭이 배출하고 있으며, 이 가운데 81.9%가 컨테이너 수송 등에 이용되는 대형트럭에서 배출되고 있다. 또한 도로의 건설 역시 생태계의 단절과 산림훼손 등 직접적인 환경훼손이 심각하다. 따라서 늘어나는 도로수송수요를 추가적인 도로건설로 수용하는 것은 운행에서 야기되는 대기환경 오염과 건설에서 발생하는 생태계 단절과 산림훼손 등 다양한 환경오염과 훼손을 야기할 것이다.

경제학적 측면에서 볼 때 운송비용에 환경비용이 고려되지 않을 경우 화물운송의 사적비용(private costs)이 사회적 비용(social costs)보다 크게 낮아 사회적으로 바람직한 가격보다 훨씬 낮은 가격에 사회적으로 바람직한 양보다 훨씬 많은 양이 공급된다. 이는 단기적으로 소비자와 생산자의 잉여를 증가시켜 국민 후생이 증가되는 것처럼 보이지만, 장기적으로는 경제의 효율성 저하와 환경자원의 착취에 따른 국민후생의 감소 등으로 경제에 심각한 부담으로 되돌아오는 부메랑 효과를 야기할 것이다.

따라서 이 연구에서는 우리나라 화물수송량의 90% 이상을 분담하고 국가물류수송비의 97%를 차지하는 대표적 운송수단인 도로수송과 연안 해운의 환경비용을 각각 추정하고 이를 비교함으로써 국가적인 차원에서 수송분담율의 전환이 환경비용 개선에 미치는 영향을 분석코자 한다. 또한 이 결과를 이용하여 국가적인 차원에서 운송수단별 화물수송의 비합리성을 개선하고 교통시설투자의 합리적 배분을 위한 정책적 대안을 제시코자 한다.

이와 아울러 이 연구에서는 그동안 일부 학자들을 중심으로 특정 대기오염물질만을 대상으로 했던 환경비용 추정 수준을 전체 대기오염물질, 소음, 온실가스 등으로 속성을 크게 확대하였으며, 분석대상도 도로 운송뿐 아니라 해상 운송까지 확대하여 종합적인 환경비용의 추정을 시도하였다. 이를 위해 이 연구에서는 그동안 환경재의 경제적 가치추정에 주로 이용되었던 조건부가치추정기법(CVM)이나 헤도닉가격모형(HPM) 등 가치추정 지향적 방법론을 탈피하여 모든 속성이 동시에 고려될 수 있으며, 각 속성별 단위가치와 가중치를 유도하여 운송수단별로 지수화할 수 있는 다속성효용기법(MAUA)을 교통분야에 처음으로 적용하여 운송수단별로 각 속성이 야기하는 환경오염의 단위비용을 추정하였다.

2. 연구의 범위

이 연구의 내용적 범위는 우리나라의 대표적 화물수송수단인 도로수송, 철도수송, 연안 해운, 국내 항공수송 가운데 도로 수송과 연안 해운에 국한한다. 연구의 내용적 범위를 도로와 해운으로 한정 한 이유는 두 운송수단이 국내 화물수송의 90% 이상을 분담하는 우리나라의 대표적인 운송수단으로 자리잡고 있기 때문이다.

또한 운송부문의 환경비용 추정은 통상 트럭과 선박 등의 운행에서 야기되는 환경비용과 도로와 항만 등 교통시설의 건설에서 발생하는 환경비용이 동시에 고려되어야 하나, 이 연구에서는 운행에서 야기되는 환경비용의 추정에만 국한하였다. 이의 주된 이유는 연구 초기의 의도와는 달리 국내외적으로 도로와 항만의 건설시 훼손되는 환경피해에 대해 정확한 공학적 자료를 구할 수 없었기 때문이다. 즉 교통시설의 건설에 따른 환경훼손비용을 산출하기 위해서는 도로 1m² 건설시 평지, 산악, 교량 등 지형별로 생태계나 경관 등 자연과학적 환경피해에 대한 연구결과와 항만 1m² 건설시 훼손되는 해양생태계와 수자원 등의 피해에 대한 자연과학적 훼손 원단위가 필요한데, 이러한 자료의 구입이 용이하지 않았기 때문이다.

한편 이 연구의 시간적 범위는 원칙적으로 2001년으로 하되, 자료의 특성상 집계예 2년 이상 소요되거나 취득가능한 자료가 기준연도보다 이전인 경우 이를 채용하였다. 과거 시계열 자료를 참조한 결과 도로수송과 해운 등의 수송패턴은 단기간에 쉽게 바뀌지 않는다는 점을 확인하였기 때문이다.

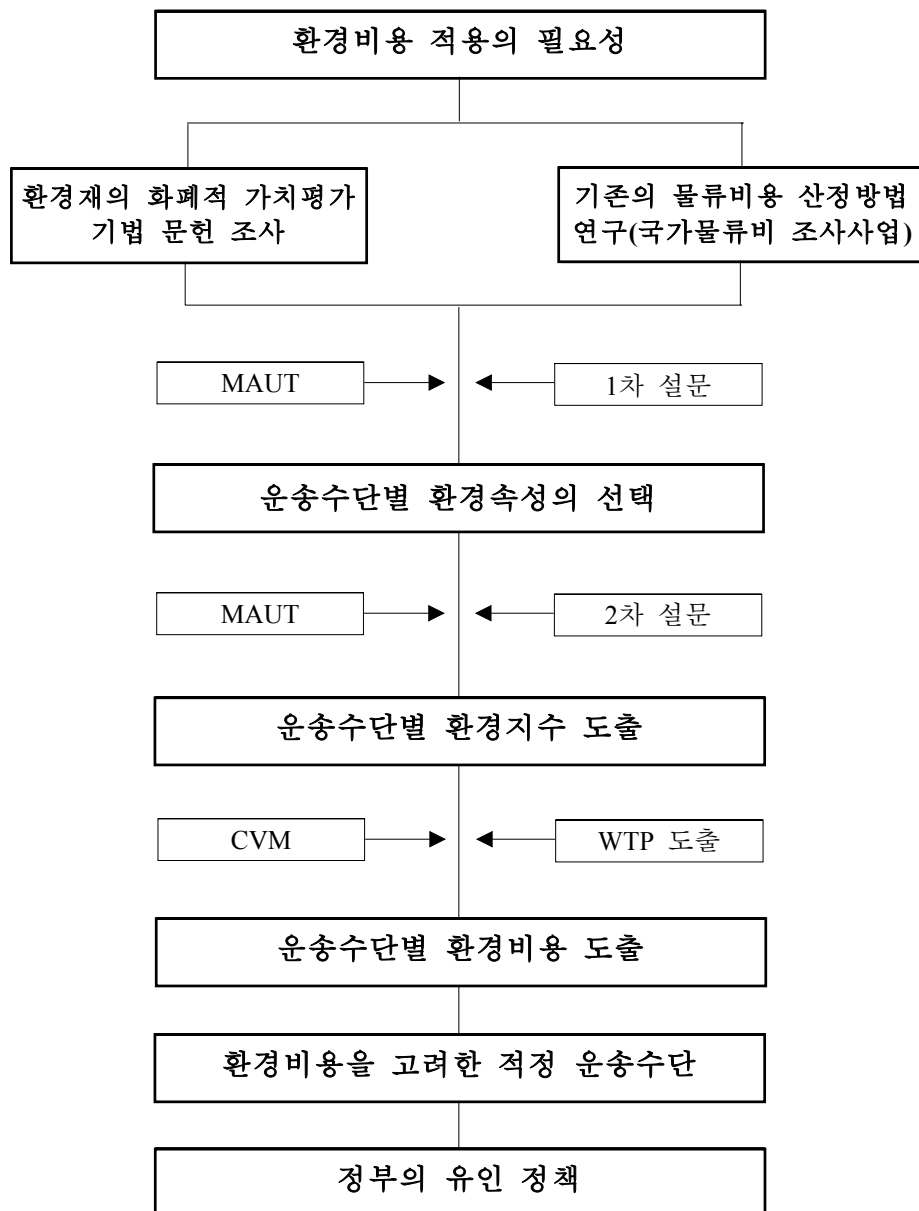
3. 연구의 방법

1) 연구방법론

이 연구의 기본적으로 문헌조사와 환경비용 추정을 위한 실증분석으로 이루어졌다. 문헌조사는 선행 연구에 대한 조사와 도로수송 및 해운에 대한 현황 자료 수집, 그리고 실증분석을 위한 자연과학적 연구결과의 수집을 위해 주로 수행하였다. 또한 환경비용 추정을 위한 실증분석에서는 아

직까지 우리나라에 널리 알려져 있지 않은 다속성효용기법(MAUA)을 이용하여 운송수단별로 발생하는 다양한 환경속성을 동시 추정하였다. 또한 실증분석을 위한 데이터 수집을 위해 해운물류, 육상물류, 육상 및 해상 운송회사의 연구 및 실무 전문가를 대상으로 2회에 걸쳐 설문조사를 실시하였다.

2) 연구 흐름도



제 2 장 운송수단에 있어서 환경비용 적용의 필요성

우리나라의 대표적 화물 운송수단인 도로, 철도, 해운, 항공 등은 그동안 운송기업의 개별적 화폐비용과 타 운송기업에 대한 경쟁적 가격전략에 따라 운임이 설정되었다. 그러나 일반적으로 이와 같은 교통수단은 개별 운송기업 차원의 재무적 비용 외에도 혼잡에 따른 교통지체비용, 도로마모에 따른 교통시설비용 등 많은 사회적 비용을 야기하는 것으로 알려져 있다.

여기에서는 차량과 선박 등 운송수단이 야기하는 여러 가지 사회적 비용 가운데 환경비용에 대해 그 필요성을 살펴봄으로써 이후 진행되는 다양한 분석의 근거로 제시하고자 한다.

1. 운송수단의 환경오염 유발 현황

차량과 선박 등 운송수단은 소음, 대기 및 수질 악화, 자연경관과 생태계(종다양성) 및 문화유산 파괴 등의 다양한 손실을 야기하고 있다. 영국의 교통환경부(Department of the Environment, Transport and the Regions; DETR)는 「영국의 주요간선도로를 위한 뉴딜정책(A New Deal for Trunk Road in England)」에서 환경(Environment), 안전성(Safety), 경제성(Economy), 접근성(Accessibility), 통합성(Integration) 등 5가지를 핵심과제로 구분하였으며, 이에 따른 「교통영향평가 지침(Guidance on the New Approach to Appraisal)」에서 환경의 평가항목으로 소음, 대기오염, 수질악화 등 6가지를 필수 측정항목으로 지정하였다. 이 가운데 소음과 대기질 악화는 차량의 운행에서 발생하는 환경오염인자이며, 자연경관, 생태계, 문화유산의 손실은 도로 및 항만건설 등 새로운 교통시설의 건설에 의해 야기되는 환경오염인자이다.

한편 운송수단별로 보면 소음, 대기질 악화, 자연경관 훼손, 생태계 및 문화유산 손실 등은 육상교통에 의해 야기되는 환경오염이며, 대기질 및 수질 악화, 생태계(해양생태계) 손실 등은 해상교통에 의해 야기되는 환

경오염이라고 볼 수 있다. 특히 두 운송수단에 의해 공히 발생하는 대기 질 악화는 교통수단에 의한 환경오염의 대표적인 피해로 간주되고 있으며, 온실가스(Greenhouse gas; GHG) 배출 방지를 위한 국제협약(교토협약) 등에서도 운송수단에 의한 지구온난화와 기후변화를 중요 과제의 하나로 채택하고 있다.

특히 Fergusson 등(1999)에 따르면, 미국의 경우 운송부문에서만 방출되는 탄소배출량이 전 세계 탄소배출량의 5%에 해당하며, 대부분이 내연기관(Motor Vehicle)을 장착한 운송수단에 의해 방출되고 있어 운송부문이 대기오염 및 지구온난화에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다. 이에 따라 미국에서는 과학아카데미(National Academy of Science) 산하 국립연구위원회(National Research Council; NRC)의 교통연구이사회(Transportation Research Board; TRB)를 중심으로 교통 및 공공정책 관련자에게 운송수단에 의해 야기되는 환경적 피해를 홍보하기 위한 보고서¹⁾를 발행하였으며, 내연 운송수단의 운영과 교통관련 사회간접자본시설의 건설이 비가역적(irreversibl)이며 장기적으로 후손들에게 기후변화와 생태계 파괴 등 심각한 영향을 미치지 않도록 「지속가능한 교통(Sustainable Transportation)」의 개념을 도입하였다. 이를 위해서는 대체연료기술의 개발과 교통이 생태에 미치는 영향에 대한 경제주체의 이해 증진이 시급함을 지적하였다.

또한 영국의 경우에서도 수송부문에서 발생하는 온실가스는 1970년대에 전체 배출가스의 12.5%에 불과하였으나, 1995년에는 25%로 2배 이상 증가하였으며, 이 가운데 80%는 육상 운송수단에 의한 것으로 드러났다. 따라서 영국에서도 교통정책에 있어서 환경적으로 새로운 개념을 정착시킬 필요성에 직면하였으며, 이를 위해 「교통에 있어서 뉴딜정책(A New Deal for Transport)²⁾」을 추진하고 있다.

우리나라의 경우 수송부문에서 발생하는 대기 오염물질의 배출량은 1998년 현재 191만톤으로 총 배출량 377만톤의 50.8%에 이르고 있으며, 지구온난화를 야기하는 이산화탄소(CO₂)의 경우 1998년에 배출된 총 4억

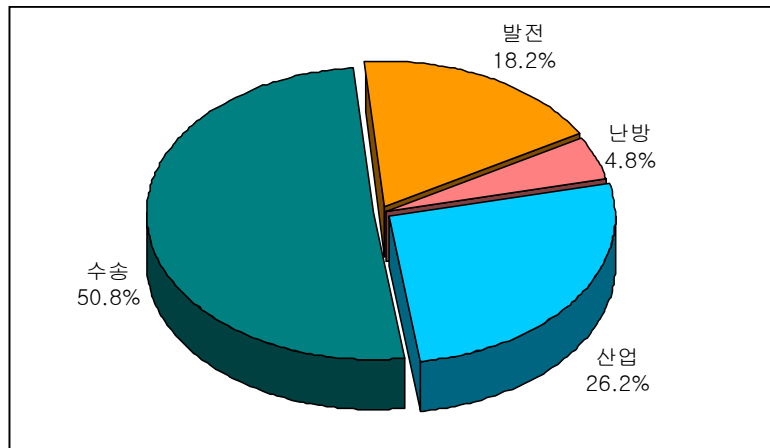
1) 자세한 내용은 Transportation Research Board, Toward a Sustainable Future:

Addressing the Long-Term Effects of Motor Vehicle Transportation on Climate and Ecology, 1997. 참조

2) 자세한 내용은 Department of Environment, Transport and Region, A New Deal for Transport: Better for Everyone, 1998. 참조

434만톤 가운데 수송부문에 해당하는 이동배출원에서 발생한 양이 19.2%인 7,782만톤에 달하고 있다. 특히 일반인의 인식과는 달리 동절기 난방이나 화력발전소 등에서의 대기오염물질 배출량은 각각 4.8%와 18.2%에 불과한 실정이며, 산업부문에서 발생하는 대기오염물질 배출량도 26.2%에 머물고 있어 대부분의 대기 오염물질 배출량이 수송부문에서 발생되었음을 알 수 있다. 다만, 지구온난화를 야기하는 이산화탄소 배출의 경우 발전소(22.9%)와 산업부문(41.5%)이 주요 배출원이 되고 있다.

<그림 II-1> 우리나라의 발생원별 대기오염물질 배출비율(1998년 기준)



자료 : 환경부의 「환경백서 2000」에 의거 KMI 작성

<표 II-1> 우리나라의 배출원별 이산화탄소(CO₂) 배출 추이

단위 : 천톤

구 분	이동배출원		고정배출원		계	
		%		%		%
1985	19,946	11.5	154,121	88.5	174,067	100.0
1990	42,198	16.3	216,153	83.7	258,351	100.0
1995	80,868	19.9	324,937	80.1	405,805	100.0
1998	77,818	19.2	326,524	80.8	404,342	100.0

자료 : 환경부, 「환경통계연감 2000」에 의거 KMI 작성

주 : 1) 이동배출원 : 수송부문의 연료소비에 따른 배출

2) 고정배출원 : 발전소, 산업연료연소, 산업공정, 비산업연료연소, 기타고정배출원 등으로 구성

대표적 육상운송수단인 자동차에서 배출되는 오염물질은 연료로 사용하는 에너지원에 따라 다소의 차이를 보이고 있으나, 일반적으로 휘발유와 액화석유가스(LPG)를 사용하는 자동차의 경우 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx) 등을, 경유를 사용하는 자동차의 경우 매연(미세먼지, PM)과 질소산화물 등을 주로 배출한다.

환경부의 집계에 따르면 1998년 현재 수송부문에서 발생하는 우리나라 대기 오염물질 배출량 191만톤 가운데 도로에서 발생하는 대기오염물질 배출량은 155만톤으로 수송부문에서 발생하는 대기오염물질 배출량의 81.2%를 차지하고 있다. 이는 우리나라 전체 대기오염물질 배출량 377만톤의 약 41.2%에 해당하는 수준이다.

<표 II-2>

오염물질별 자동차 배출가스량(1998년 기준)

단위 : 천톤/년

구분	계	CO	HC	NOx	PM	SO ₂
대기중 오염물질 배출량(A)	3,768 (100.0)	977 (25.9)	141 (3.7)	1,084 (28.8)	420 (11.1)	1,146 (30.4)
자동차 오염물질 배출량(B)	1,552 (100.0)	884 (57.0)	122 (7.9)	465 (30.0)	73 (4.7)	7 (0.5)
비율(B/A)	41.2%	90.5%	86.5%	42.9%	17.4%	0.7%

자료 : 환경부, 「환경백서 2000」, 2001.

주 : ()는 해당항목의 계에 대한 비율

1) 도로운송수단의 환경 오염 유발 현황

지역별로 볼 때, 자동차에 의한 대기오염물질 배출비율은 1998년 현재 광주(87.8%), 서울(83.8%), 대전(83.0%), 대구(78.8%)의 순이며, 산업단지가 밀집된 울산(19.0%), 부산(40.0%), 인천(50.3%) 지역은 타 지역에 비해 상대적으로 자동차에 의한 대기오염물질 방출 비율이 낮았다.

<표 II-3> 우리나라 대도시의 자동차에 의한 대기오염 비중(1998년 기준)

단위 : 천톤/년

지 역	우리나라 대기오염 배출량(A)	자동차의 대기오염 방출량	
		(B)	B/A(%)
서울	334	280	83.8
부산	301	120	40.0
대구	104	82	78.8
인천	169	85	50.3
광주	49	43	87.8
대전	53	44	83.0
울산	189	36	19.0
경기	434	284	65.4
전국	3,768	1,551	41.2

자료 : 환경부, 「환경백서 2000」, 2001.

자동차가 사용하는 에너지원별로 대기오염물질 배출량을 살펴보면 휘발유를 연료로 하는 자동차의 경우 일산화탄소(CO)와 탄화수소(HC)의 비율이 경유차의 배출량을 약간 상회하였으나 그 외의 항목에서는 경유차의 대기오염물질 배출량이 휘발유차의 배출량을 상회하고 있는 것으로 나타났다. 특히 질소산화물(NO_x)과 미세먼지(PM)의 경우 대부분 경유차에서 발생한 것으로 나타났다.

<표 II-4> 자동차의 연료별 대기오염물질 배출량 및 기여도(1998년 기준)

단위 : 천톤, %

구분	SO ₂	NO _x	CO	PM	HC
자동차배출량	7.7 (100)	464.8 (100)	884.3 (100)	73.1 (100)	121.8 (100)
휘발유차 배출량	0 (0)	77.1 (17)	490.6 (55)	1.1 (2)	72.0 (59)
경유차 배출량	7.7 (100)	387.7 (83)	393.7 (45)	72.0 (98)	49.8 (41)

자료 : 환경부, 「환경백서 2000」, 2001.

한편, 자동차의 종류별 대기오염물질 배출량을 살펴보면, 대당 대기오

염물질 배출량이 각각 연간 1,856Kg과 1,657Kg에 달한 대형버스와 대형 트럭이 대기오염물질을 가장 많이 배출한 차종으로 나타났다. 이에 반해 대당 대기오염물질 배출량이 가장 적은 자동차는 휘발유와 액화천연가스(LPG)를 연료로 하는 승용차로서 대당 연간 대기오염물질 배출량이 84Kg으로 타 차종에 비해 상대적으로 적은 오염물질을 배출하였다.

또한 차종별 대기오염물질 배출 비율을 보면 트럭과 승용차의 오염물질 배출비율이 각각 46.5%와 38.8%를 차지하여 두 차종이 자동차 대기오염의 대부분을 차지하고 있다. 승용차의 경우 대당 대기오염물질 배출량은 타 차종에 비해 상대적으로 낮으나 승용차 대수가 전체 자동차의 68.8%를 차지하고 있어 배출총량이 많은 것으로 보인다.

대형트럭의 경우 전체 자동차 대기오염물질 배출량의 34.5%를 차지하고 있어 대당 대기오염물질 배출량 뿐 아니라 배출 총량에 있어서도 가장 높아 우리나라 대기오염의 주요인이 되고 있다. 특히 질소산화물(NO_x)과 매연으로 이루어진 미세먼지(PM)의 경우 대형트럭에서 배출되는 양이 전체 자동차에서 배출되는 양의 50%를 차지할 만큼 대형트럭에 의한 대기오염물질 배출은 심각한 것으로 보인다.

<표 II-5> 자동차의 차종별 대당 연간 대기오염물질 배출량(1998년 기준)

단위 : Kg/대

차종		계	CO	HC	NO _x	PM	SO ₂
자동차계		148	84	12	44	7	1
승용차		84	64	10	10	0	-
버스	소계	197	85	10	84	16	2
	소형	89	42	4	34	7	2
	중형	101	38	15	32	13	2
	대형	1,856	756	107	851	136	7
트럭	소계	342	154	19	141	26	3
	소형	99	48	4	36	9	2
	중형	161	61	24	51	21	3
	대형	1,657	735	92	711	114	6

자료 : 환경부의 「환경백서 2000」에 의거 KMI 작성

<표 II-6> 자동차의 차종별 연간 대기오염물질 배출 비율

단위 : %

차종		계	CO	HC	NO _x	PM	SO ₂
자동차계		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
승용차		38.8	52.1	56.6	15.5	1.5	0.0
버스	소계	14.6	11.1	9.8	20.7	24.4	31.3
	소형	6.0	4.9	3.2	7.6	10.7	23.9
	중형	0.2	0.2	0.5	0.3	0.7	0.9
	대형	8.4	6.0	6.2	12.9	13.0	6.4
트럭	소계	46.5	36.8	33.6	63.8	74.0	68.7
	소형	10.3	8.8	5.8	12.5	18.9	38.7
	중형	1.8	1.2	3.4	1.9	5.0	6.6
	대형	34.5	26.8	24.3	49.4	50.2	23.5

자료 : 환경부의 「환경백서 2000」에 의거 KMI 작성

2) 해상운송수단의 환경오염 유발 현황

일반적으로 해상교통수단의 환경오염은 육상교통수단에 비해 그리 심각하지 않은 것으로 알려져 있다. 이는 해상의 화물수송 부담율이 육상의 1/3수준으로 낮은 반면, 동일한 양의 화물을 수송하는데 있어서 선박에 의한 운송이 트럭 등 육상운송수단에 의한 운송에 비해 훨씬 에너지 효율적이기 때문이다.

그러나 각국의 정부와 국제환경기구 등이 대기오염의 저감을 위해 상대적으로 육상운송수단에 대한 규제를 강화하는 동안 해상운송수단인 선박은 상대적인 관심 소홀로 현재 질소산화물(NO_x), 이산화황(SO₂), 미세먼지(PM) 등의 최대 배출원으로 부각하고 있다. 그 주요 원인은 대부분의 선박에서 다량의 유황이 함유된 저질 연료를 사용하기 때문이다. 통상적으로 육상운송수단에서 사용하는 경유는 탈황처리를 통해 황의 입자가 500ppm³⁾ 미만인데 비해 선박에서는 이의 10~100배에 해당하는 5,000~50,000ppm의 경유를 사용하고 있다. 이에 따라 블루워터 연구소(Bluewater Network, 2000)에 따르면 선박에서 발생하는 질소산화물과 이산화황의 경

3) 백만개의 입자중 해당 입자의 수(ppm = particles per million)

우 전 세계의 에너지원에서 발생하는 양의 각각 14%와 16%를 차지하고 있다. 이에 따라 미국 환경청(Environment Protection Agency; EPA)은 해상 운송 선박을 3등급(Category 3)⁴⁾으로 구분하여 관리하고 있다.

한편, 전세계 해상물동량은 1983년의 12조6억톤에서 1998년에는 21조4천억톤으로 70% 가까이 증가하였으며, 향후 20년 동안 국가별 무역장벽의 철폐 등으로 다시 현재의 2배 수준으로 증가될 것으로 보여 선박에 의한 대기오염물질 배출량은 크게 증가될 전망이다. 미국 환경청(EPA)은 대형선박에 의한 대기오염물질 배출량이 2020년에는 미국 전체 대기오염물질 배출량의 6%, 2030년에는 13%까지 증가될 것으로 전망하고 있다. 그러나 이러한 수치는 미국 정부가 선박에 의한 대기오염물질 배출규제를 철저히 한다는 가정 하에서 나타나는 수치이며, 만일 그러한 배출규제가 적절히 수행되지 못한다면 선박에 의한 대기오염물질 배출량이 미국 전체 대기오염물질 배출량에서 차지하는 비중이 2020년에 22%, 2030년에 35%까지 높아질 것이라고 경고하고 있다.

1997년 현재 전세계 선박의 이산화황 배출량은 미국에서 배출하는 이산화황의 43%에 해당하며, OECD유럽에서 발생하는 이산화황의 53%에 해당할 만큼 심각한 수준이다. 특히 미국 캘리포니아의 경우 배출되는 이산화황의 30%가 선박에서 발생되고 있다. 또한 James 등(1997)에 따르면 선박에서 배출되는 질소산화물의 경우 미국에서 발생하는 질소산화물의 42%에 해당하며, 이는 미국의 전체 자동차에서 배출하는 질소산화물과 같은 규모에 해당한다.

우리나라의 경우 선박에 의한 대기오염물질 배출량 통계는 정확히 제시되지 않고 있다. 다만 환경부에서 집계한 수송부문의 총 대기오염물질 배출량에서 육상운송수단(자동차)에 의한 대기오염물질 배출량을 제외한 부분을 통해 추론할 경우 해상수송 부문에서 배출되는 대기오염물질은 연간 수송부문에서 발생하는 총 대기오염물질의 19.0%에 해당하는 36만톤에 이르는 것으로 판단된다. 특히 해상수송수단에 의해 발생하는 대기오염물질은 이산화황(SO₂)에 집중되어 있어 수송부문에서 발생하는 전체 이산화탄소 30만톤의 98.3%에 해당하는 29만톤을 배출하고 있다. 해상수

4) EPA의 Category 3은 이용가능한 연료 가운데 가장 더럽고 값이 싼 중유를 사용하는 엔진을 포함한다. Category 3에 포함된 엔진은 산성비와 지구온난화를 야기하는 다량의 대기오염물질을 배출한다.

송수단에서 이산화탄소의 배출량이 많았던 것은 앞에서 언급한 바와 같이 값싼 고유황 연료의 사용 때문으로 보인다.

<표 II-7> 우리나라의 육상 및 해상의 대기오염물질 배출량(1998년 기준)

단위 : 천톤/년

	계	SO ₂	NO _x	TSP	CO	HC
계	1,086	295	342	63	337	49
트럭	721	5	296	54	325	41
선박	365	290	46	9	12	8

자료 : 환경부, 「환경백서 2000」에 의거 KMI 작성

한편 수송화물 톤당 대기 중으로 배출하는 오염물질의 양은 선박이 연간 3.2Kg을 배출하는데 비해 육상 트럭은 1.8Kg을 배출하여 1톤을 수송하는데 배출되는 대기오염물질의 양은 선박이 훨씬 많은 것으로 나타났다. 특히 선박의 경우 1톤의 화물을 수송하면서 약 2.5Kg의 이산화황을 배출한 것으로 나타나 전체 톤당 오염배출량 3.2Kg의 78%가 이산화황이었다.

<표 II-8> 육상 및 해상부문의 수송 톤당 대기오염 배출량(1998년 기준)

단위 : Kg/톤

	계	SO ₂	NO _x	TSP	CO	HC
계	1.9	0.5	0.6	0.1	0.6	0.1
트럭	1.8	0.0	0.7	0.1	0.8	0.1
선박	3.2	2.5	0.4	0.1	0.1	0.1

자료 : 환경부의 「환경백서 2000」과 건설교통부의 「건설교통통계연보 2000」에 의거 KMI 작성

반면, 1톤의 화물을 1Km 수송하는데 배출되는 톤-Km당 대기오염물질 배출량을 살펴보면 트럭이 76.8g으로 10.8g으로 나타난 선박에 비해 7배 가까이 많은 양의 대기오염물질을 배출하였다. 특히 질소산화물(NO_x)과 일산화탄소(CO)의 경우 트럭은 선박에 비해 각각 22배와 87배나 많은 양을 대기중에 배출하고 있는 실정이다.

<표 II-9> 트럭과 선박의 톤-Km당 대기오염 배출량(1998년 기준)

단위 : g/톤-Km

	계	SO ₂	NO _x	TSP	CO	HC
계	25.3	6.9	8.0	1.5	7.8	1.1
트럭	76.8	0.5	31.5	5.8	34.6	4.4
선박	10.8	8.6	1.4	0.3	0.4	0.2

자료 : 환경부의 「환경백서 2000」과 건설교통부의 「건설교통통계연보 2000」에 의거
KMI 작성

2. 운송수단의 환경오염 피해 유발 현황

선박과 자동차 등 운송수단에서 발생하는 환경오염은 크게 대기오염물질, 수질오염물질, 소음, 이산화탄소(CO₂) 등과 같은 온실가스⁵⁾로 구분된다. 이 가운데 트럭 등 육상운송수단은 대기오염물질과 소음, 온실가스와 직접적인 관련이 있으며, 선박 등 해상운송수단은 대기오염물질, 수질오염물질, 온실가스 등과 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

이러한 환경오염원이 경제에 미치는 영향은 크게 인체에 미치는 피해와 자연환경에 미치는 피해로 구분된다.

1) 인체에 미치는 피해

선박과 자동차 등 운송수단에서 발생하는 오염물질 가운데 인체에 직접적인 영향을 미치는 물질은 대기오염물질과 소음이다.

(1) 대기오염물질이 인체에 미치는 피해

환경부 자료에 따르면 자동차 등 운송수단에서 배출되는 대기오염물질은 산소가 부족한 상태에서 연료가 불완전연소 할 때 발생하는 일산화탄소(CO)(57.0%)와 연료의 고온 연소시 공기중의 산소와 질소가 결합되어

5) 이산화탄소 등 온실가스는 직접적으로 인간에 유해하거나 대기환경을 악화시키는 물질로 분류되지 않으며, 대기중에 축적되어 지구의 표면 온도를 상승시키는 것으로 알려져있다. 대기환경보전법에서도 이산화탄소는 대기환경오염물질로 구분되지 않는다.

생성되는 질소산화물(NO_x)(30.0%)이 전체의 87.0%로 대부분을 차지하고 있으며, 나머지는 탄화수소(HC), 미세먼지(PM) 그리고 이산화황(SO_2) 등으로 이루어져있다.

<표 II-10> 운송수단 발생 대기오염물질이 인체에 미치는 영향

항 목	발 생 원	피 해	환 경 기 준
아황산가스(SO_2)	B-C유 또는 석탄의 연소과정	- 인체 호흡기질환 - 식물의 성장피해	- 연 간 : 0.02ppm - 24시간 : 0.05ppm - 1시간 : 0.15ppm
먼지(TSP)	연료연소, 시멘트공장, 도로 등에서 비산	아황산가스와 결합하여 호흡기질환 유발	- 연간: 70mg/m ³ - 24시간:150mg/m ³
일산화탄소(CO)	산소가 부족한 상태에서 연료가연소할 때 발생	혈중의 헤모글로빈과 결합하여 산소공급저해, 두통, 현기증 유발	- 8시간 : 20ppm - 1시간 : 25ppm
이산화질소(NO_2)	자동차 배기가스, 질산을 사용하는 표면처리공정	- 코와 인후자극, 호흡기에 나쁜 영향 - HC와 함께 광화학 스모그 생성	- 연간 : 0.05ppm - 24시간 : 0.08ppm - 1시간 : 0.15ppm
탄화수소(HC)	휘발유가 연소되지 않은 상태에서 배출되거나 연소에 의하여 크래킹을 일으킬때 주로 발생	NO_2 와 혼합될 경우 강렬한 햇빛에 의하여 광화학스모그 생성	
오존(O_3)	자동차 배출가스중 이산화질소와 탄화수소가 햇빛과 반응하여 생성	눈자극, 농작물 피해	- 8시간 : 0.06ppm - 1시간 : 0.1ppm
납(Pb)	자동차 배기가스(유연휘발유 사용) 및 납사용 용해시설 등	중독시 신경염 및 두통, 현기증 등	- 연간 : 0.5mg/m ³

자료 : 환경부, 「환경백서」, 2000.

<표 II-10>에서 보는 바와 같이 운송수단에서 발생하는 대기오염물질 가운데 일산화탄소는 혈액중의 헤모글로빈과 결합하여 산소공급을 저해하고 두통과 현기증을 유발하며, 질소산화물은 코와 목을 자극하고 호흡기에 나쁜 영향을 미치고, 탄화수소 등이 광화학스모그를 발생시키는 것

으로 나타나고 있다. 이처럼 운송수단은 인간에게 환경적으로 유해한 물질을 방출함을 알 수 있는데, 특히 대기 중으로 배출되는 일산화탄소와 탄화수소의 80% 이상을 발생시켜 대기오염의 주범으로 간주되고 있다.

이 외에도 1990년 미국환경청(EPA)의 조사에 따르면 대기중에 미량으로 존재하면서 인체에 암을 유발시키는 등 낮은 농도에서도 인체에 악영향을 미치는 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollution; HAPs) 가운데 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds; VOC)은 약 55%가 자동차 등 운송수단에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다.

① 사망위험(mortality)

특정지역의 대기가 급격히 악화될 경우 대기오염에 따른 사망자 수는 크게 증가한다. 영국 런던에서 발생한 대기오염이 대표적인 사례로 간주되는데, 1952년 12월에 급격한 대기오염으로 초과 사망자⁶⁾ 수가 4,000명에 달했으며, 10년 후인 1962년 12월에도 동일한 상황으로 초과 사망자 수가 700명에 달했다.

<표 II-11> 급격한 대기오염에 따른 대규모 초과사망 사건

일 시	장 소	초과사망자 수(명)
1930년 12월	뮤즈계곡(벨기에)	63
1948년 10월	도노라(미국)	20
1952년 12월	런던(영국)	4,000
1962년 12월	런던(영국)	700
1966년 11월	뉴욕(미국)	63

자료 : 원자력연구소, 「원자력발전에 의한 대기개선편익의 경제적 가치추정」, 2000.

김용익(1991)의 연구에 따르면 우리나라의 경우에도 특정 대기오염물질이 10% 증가하면 7년 후에 인구 10만명당 최저 2.5명에서 최고 32.3명이 초과사망한다고 분석하였다.

6) 초과사망자는 1일 평균사망자를 넘어 발생하는 사망자를 말한다. 즉 초과사망자수 = 당일 사망자수 - 1일 평균 사망자수이며, 대기오염에 따른 사망자의 지표로 사용된다.

<표 II-12> 특정 대기오염물질 10%증가에 따른 초과사망자 추정비교

단위: 명/10만명

모 형	SOx	NOx	TSP	HC	CO
로그모형	23.72	8.63	25.40	30.93	32.26
선형모형	16.96	2.69	55.34	30.24	21.31

자료 : 김용억(1991). 원자력연구소, 「원자력발전에 의한 대기개선편익의 경제적 가치 추정」, 2000.에서 재인용

이 분석에 따르면 특정 대기오염물질 10% 증가에 따른 초과사망자 수가 가장 많은 대기오염물질은 탄화수소(HC)로 7년후 약 30명의 초과사망자가 발생하는 것으로 나타났으며, 사망위험이 가장 낮은 대기오염물질은 질소산화물(NOx)인 것으로 나타났다.

② 질병위험(morbidity)

또한 김용억(1991)은 의료보험자를 대상으로 한 자료를 바탕으로 특정 대기오염물질이 10% 증가하면 외래와 입원을 합하여 인구 1,000명당 약 33명의 호흡기 관련 질병환자가 발생한다고 분석하였다.

<표 II-13> 특정 대기오염물질 10% 증가에 따른 질병위험 증가추정치

단위: 명/1000명

모형		SOx	NOx	TSP	HC	총계
상기도질병	합계	-	13.0400	4.5600	15.0000	32.6000
	입원	0.00290	0.0026	0.0037	0.0191	0.0283
	외래	-	13.0374	4.5563	14.9809	29.5250
호흡기관련 기타 질병	합계	0.47650	-	0.0183	-	0.49480
	입원	0.00326	-	-	-	0.00326
	외래	0.47090	-	0.0181	-	0.48900

자료 : 김용억(1991). 원자력연구소, 「원자력발전에 의한 대기개선편익의 경제적 가치 추정」, 2000.에서 재인용

대기오염 10% 증가에 따른 질병위험(morbidity) 역시 탄화수소(HC)가 가장 높았으며, 질소산화물의 경우 사망위험(mortality)은 낮으나 질병위험

은 높은 것으로 나타났다.

또한 대기오염 농도와 천식발생 건수에 대한 최기운(1994)의 분석에 따르면 대기오염 농도와 당일 혹은 다음날 천식발생 건수와는 비교적 높은 상관관계가 있음을 보였다.

<표 II-14> 천식발생건수와 대기오염농도와의 상관관계

구 분	당일 천식발생건수		다음날의 천식발생건수		
	NO _x	TSP	NO ₂	SO ₂	CO
상관계수	0.423	0.405	0.389	0.345	0.331

자료 : 최기운(1991). 원자력연구소, 「원자력발전에 의한 대기개선편익의 경제적 가치 추정」, 2000.에서 재인용

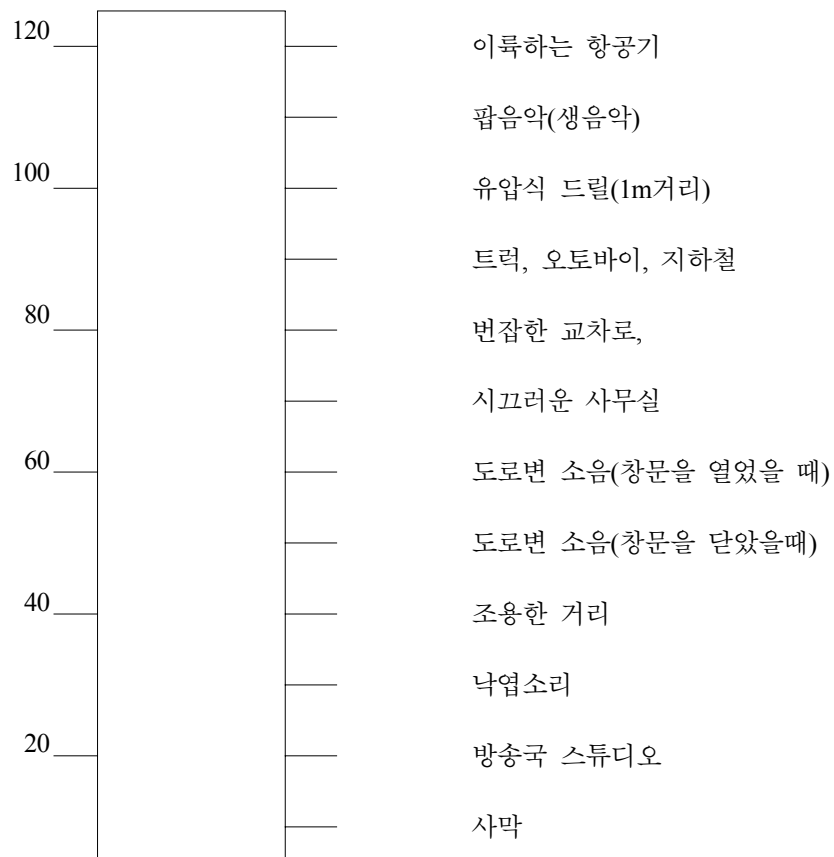
(2) 소음이 인체에 미치는 피해

일반적으로 최대의 소음 배출원은 도로 및 건물 공사현장으로 알려져 있으나, 지속적이고 다량의 소음 배출원은 교통수단이다. 특히 가정에서 겪는 대부분의 소음은 도로상의 교통수단에 의해 발생하고 있다.

OECD(1995)에 따르면 인간이 소음에 노출될 경우 1차적으로 스트레스를 유발하며, 2차적으로는 순환기와 소화기 장애를 일으키는 것으로 알려졌다. 또한 소음은 만성적인 수면장애를 유발하며 75~80데시벨(dB) 이상의 소음에 노출될 경우 일시적으로 청각장애를 유발하며, 장기간 노출시 작은 소리를 듣지 못하는 이맹 현상이 발생된다.

외국의 경우 설문조사상에서 가장 많은 불만을 나타내는 것이 소음이며, 유아기의 어린이에게 소음은 정서발달에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

<그림 II-2> OECD에서 분류한 소음의 예시



자료 : OECD, *Motor Vehicle Pollution*, 1995.

2) 자연환경에 미치는 피해

(1) 산림피해

운송수단에서 발생하는 대기오염은 산림을 손상시켜 경관 훼손과 목재 생산량 감소 등을 유발한다. 국립환경연구원(1989)의 연구에 따르면 백송이 0.025ppm의 이산화황(SO₂)에 1년간 노출될 경우 생육이 지연되며, 소나무의 경우 6개월의 노출에도 81%가 결실을 맺지 못한다. 또한 오염이 심화될 경우 잎이 마르고 탈색하는 등의 경관상 피해를 동반한다.

(2) 농업피해

대기오염물질이 농업생산성에 주는 피해는 주로 이산화황(SO₂)과 오존(O₃)에 의한 것으로 알려져 있다. 이산화황의 경우 대부분의 농작물의 기공과 배수공으로 침입하여 엽록소를 파괴하며 광합성작용의 저해로 성장 자체가 불가능하게 된다. Weigel 등(1990)에 따르면 이산화황의 농도가 10% 증가하면 보리와 콩의 생산량이 3.1% 감소하는 것으로 나타났다.

<표 II-15> Weigel 등(1990)의 농업생산 농도-반응함수 추정식

대상	농도-반응식	상관계수(R ²)	p값
보리·콩	$Y = 4.92 - 0.26(SO_2)$	0.73	p<0.001
보리	$Y = 10.92 - 0.31(SO_2)$	0.73	p<0.010
콩	$Y = -0.93 - 0.31(SO_2)$	0.84	p<0.050

자료 : 원자력연구소, 「원자력발전에 의한 대기개선편익의 경제적 가치추정」, 2000.

한편 오존은 강력한 산화작용을 통해 포도나 토마토와 같은 농작물의 엽록소를 파괴하고 효소작용을 억제한다. 유엔의 조사에 따르면 미국의 경우 오존에 의한 옥수수, 밀, 콩, 땅콩 등 농작물피해는 연간 19억 ~ 45억 달러이고, 또 다른 조사에서는 오존에 의한 농작물 전체 피해액이 연간 54억 달러에 이른다고 평가하였다⁷⁾.

(3) 재료피해

수송수단 등에서 배출되는 대기오염물질은 식물 뿐 아니라 건축물이나 금속 등의 재료에도 피해를 야기한다. 이러한 피해는 물리적 피해와 화학적 피해로 구분될 수 있는데, 미세입자(TSP)는 물질에 달라붙어 표면을 더럽히는 물리적 피해를 야기하지만 황산화물(SO_x)이나 질소산화물(NO_x) 등은 화학적 작용을 통해 표면의 부식을 촉진한다. 미국의 트라이앵글경제연구소(Triangle Economic Research; TER)에 따르면 여러가지 대기오염물질 가운데 특히 황산화물에 의한 재료피해는 페인트, 아연, 시멘트 및 콘크리트 등이 가장 큰 것으로 분석했다.

7) 원자력연구소, 「원자력발전에 의한 대기개선편익의 경제적 가치추정」, 2000.p.101.

<표 II-16>

황산화물에 의한 재료피해 순위

순위	Salmon(1970)	Acress(1989)
1	페인트	아연
2	아연	페인트
3	섬유	시멘트/콘크리트
4	시멘트/콘크리트	알루미늄
5	니켈	구리
6	고무	석재
7	주석	철
8	플라스틱	벽돌
9	알루미늄	-
10	구리	-

자료 : Triangle Economic Research

이처럼 대기오염물질은 경제 전체에 직접적으로는 생산비와 유통비를 증가시키고, 생산기반을 손상시키며 이를 통해 생활비의 상승 및 생활환경의 손상을 야기하며, 간접적으로는 이를 방지하기 위한 제반 연구 및 투자비용을 유발하고 있다. 우리나라에서는 대기오염물질이 건축이나 금속 등의 재료에 미치는 피해액을 산정한 연구물이 아직은 없으나 Desvousges 등(1994)에 따르면 미국의 경우 미세먼지(TSP)와 이산화황(SO₂)에 의하여 1가구당 1m³당 각각 약 0.3달러 정도의 피해가 유발되는 것으로 분석되었다.

(4) 시정 장애

대기오염물질은 광화학작용을 거쳐 도시지역에 광스모그를 유발하며 사람들의 시정(visual range)을 크게 감소시킨다. 국립환경연구원의 조사에 따르면 시정 감소의 원인은 안개, 강수, 습도, 풍향, 기압 등 다양하지만 황산화물이나 미세입자 등 대기오염물질이 시정 장애에 미치는 영향이 10 ~ 25%에 이르는 것으로 나타났다.

<표 II-17>

대기오염물질별 시정 장애 기여율

단위 : %

물 질	SOx	NOx	탄소화합물	탄소입자	TSP
비 율	18.6	14.2	10.8	25.5	24.8

자료 : 국립환경연구원, 「수도권지역의 시정장애현상 규명을 위한 조사연구(I)」, 1994.

3. 운송수단에 있어서 환경비용 추정의 경제학적 의의

자동차와 선박 등 물류의 핵심적인 운송수단은 화석연료를 연소시키는 내연기관에 의해 구동되고 있으며, 따라서 다양한 대기오염물질을 방출한다. 또한 선박 등에서 무단 폐기되는 하수 및 오폐물은 다량의 중금속을 포함하고 있어 부영양화와 함께 해양생태계를 위협하고 있는 실정이다.

그러나 지금까지의 물류비용 추정은 화물을 수송하는데 소요되는 사적비용(private cost)⁸⁾을 위주로 추정하고 있으며, 최근에 들어서야 비로소 교통혼잡에 따른 화물 및 인적자원의 기회비용(opportunity cost) 상실 부분을 체증비용(congestion cost)이란 이름으로 계산하고 있으나 물류비용에 정식으로 포함되지는 않고 있는 실정이다. 하지만 만일 물류행위가 여러 가지 방법으로 국민 개개인이나 타 산업 부분에 피해를 준다면 물류비용의 계산에는 이를 보상하는 비용이 추가되어야 할 것이다. 이러한 측면에서 최근에는 사적비용에 의한 제반 비용의 추정보다는 경제 전반적인 관점에서 비용을 계산하는 경제적 비용(economic cost)의 개념이 폭넓게 적용되고 있다.

1) 운송수단의 사회적 비용

사회적 비용(social cost)이란 특정 경제주체가 특정 재화 또는 서비스의 생산에 따라 해당 경제주체를 포함하여 사회 전체가 지불해야 하는 비용을 의미한다. 반면 특정 재화 또는 서비스의 생산과정에서 인건비, 원자재 구입비 등 특정 경제주체만이 지불하는 비용을 우리는 사적비용

8) 시장재화를 소모하는 데 사용되는 비용이란 측면에서 재무적 비용(financial cost)이라고 부르기도 한다.

(private cost)라고 부른다. 예를 들어 대기오염물질을 배출하는 제조업체는 제품의 생산에 필요한 장비, 원자재, 인건비 등 사적비용만을 제품생산 비용으로 간주하지만, 사회적으로는 배출된 오염물질이 산성비를 통해 산림이나 토양을 척박하게 하고 지역 주민에게 호흡기질환 등을 유발하기 때문에 사회적 비용에는 이를 포함시켜야 한다는 것이다. 이러한 의미에서 통상적으로 사회적 비용은 사적비용을 초과하게 된다⁹⁾.

교통부문에서 도로운송이나 해상운송 등과 같은 운송수단의 경우도 차량운행비용 이외에 환경오염비용, 교통혼잡비용 등 많은 사회적 비용을 유발한다. 유럽교통장관협의회(European Conference of Ministers of Transport; ECMT)(1994, 1996)에 따르면 교통부문의 사회적 비용은 차량운행비용, 교통시설비용, 교통사고비용, 환경오염비용, 교통혼잡비용 등으로 구분된다. 또한 이러한 사회적 비용은 교통서비스의 제공자 또는 이용자 등 시장참여자가 직접 비용을 지불하는 내부 비용(Internal Costs)과 시장참여자가 직접 비용을 지불하지 않는 외부 비용(External Costs)으로 구분하고 있다.

<표 II-18>

교통부문의 사회적 비용

구 분	사회적 비용	
	내부 비용	외부 비용
차량운행비용	유류비, 차량비, 통행료	타인부담비용(무료주차 등)
교통시설비용	도로이용료, 차량세, 유류소비세	회수되지 않는 시설비용(매몰비용)
교통사고비용	보험료, 교통사고 피해비용	타인의 정신적·육체적고통
환경오염비용	환경오염 피해비용	소음, 대기오염 등으로 인한 인체 및 재산상의 피해
교통혼잡비용	시간비용	타인에 대한 교통지체비용

자료 : ECMT, *Toward Fair and Efficient Pricing in Transport*, 1996.

9) 대기오염물질 배출 등과 같은 외부비경제(external diseconomy)의 경우 사회적 비용이 사적비용을 초과하지만 이웃집의 아름다운 정원 등과 같은 외부경제(external economy)의 경우 사회적 편익(social benefit)이 사적 편익(private benefit)을 초과하게 된다.

위의 표에서 보는 바와 같이 교통부문의 사회적 비용은 차량운행비용, 교통시설비용, 교통사고비용, 환경오염비용, 교통혼잡비용 등 각각의 항목에 대해 내부비용과 외부비용으로 구분된다. 여기에서 내부 비용은 경제 주체가 주유소에서 유류 구매, 고속도로 이용료의 납부, 손해보험사에 대한 보험료의 납부 등 시장 메커니즘을 통해 적정 가격을 지불하지만, 외부 비용은 사회적으로 분명히 발생하여 타인에게 피해를 야기하지만 시장의 거래기능 미비로 적정 가격을 지불하지 못하고 있는 실정이다.

특히 운송수단의 대기오염물질 배출 및 소음 등에 의해 야기되는 환경오염의 경우 앞의 1절과 2절에서 언급한 바와 같이 산성비를 통한 산림 및 토양 피해, 건강상의 질병 야기, 광스모그에 의한 시정 거리 감소, 선박의 유류 유출(oil spill)에 의한 해양생태계 파괴, 온실가스 배출에 따른 지구온난화 유발 등 그 피해 규모가 전 지구상에 걸쳐 급속히 확산되는 등 사회적 비용이 급속히 증가하는 추세에 있어 적절한 가격 기능을 통해 외부 비용을 내부화(internalising)할 필요성이 크게 높아지고 있다.

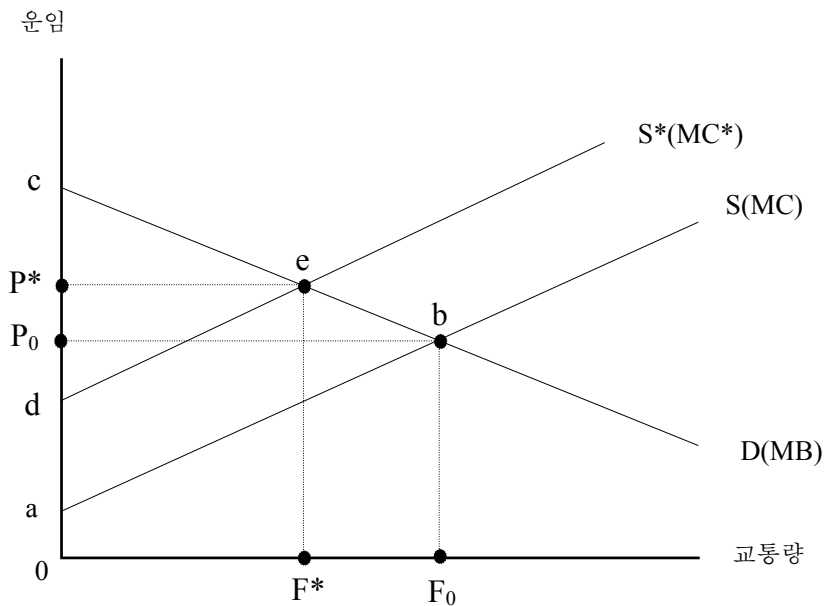
2) 환경비용 내부화의 경제적 의미

위에서 언급한 바와 같이 교통수단을 통한 화물 및 여객의 수송은 차량의 구매, 연료비, 보험료 등 제반 사적 비용 외에 환경오염물질의 배출 등에 의한 외부 비용(external cost)을 유발한다. 이러한 외부 비용은 교통체증 등과 같이 운송시스템 자체에 발생하는 경우와 환경오염물질의 배출과 같이 제3자에게 피해가 발생하는 경우로 나누어 질 수 있다.

다음의 수요공급곡선에서 D 는 이용자의 한계편익(Marginal Benefit)이며 장기적으로 이용자의 교통수요에 해당한다. 또한 S 는 공급자의 한계비용(Marginal Cost)으로 장기적으로는 교통의 공급이다. 한편 이 그림에서 S 는 개별 공급자의 한계비용인 반면, $S^*(=MC^*)$ 는 사회적으로 야기되는 비용이다. 그림에서 보는 바와 같이 사회적으로 바람직한 운임과 공급량은 사회적 비용과 수요가 교차하는 $e(P^*, F^*)$ 점이지만 개별 기업이 느끼는 사적 비용은 사회적인 비용보다 낮은 수준에 위치하므로 사회적으로 바람직한 가격 P^* 보다 더 낮은 P_0 의 운임으로 사회적으로 바람직한 공급량 F^* 보다 더 많은 F_0 을 공급하게 된다. 즉, 사적 비용에 의한 균형점은 b 점에서 결정된다. 이 경우 소비자와 생산자 잉여를 합한 산업의 총잉여는 사회적으로 바람직한 총 잉여 Δdec 보다 증가한 Δabc 가 되지만 증가분

□*abcd*는 산업 전반의 효율성 저하와 환경자원의 착취를 통해 이루어지는 것이다.

<그림 II-3> 교통부문에 외부 비용이 발생할 경우의 균형



따라서 정부가 조세나 기타 경제적 유인정책으로 운송서비스의 공급곡선을 S^* 로 이전시켜 외부 비용을 내부화(internalize)시킬 경우 산업내의 총 잉여는 $\triangle abc$ 에서 $\triangle dec$ 로 줄어들지만 □*abcd*만큼 산업 전반의 효율성이 개선되고 환경자원의 착취 및 비용발생이 감소된다.

이러한 외부 비용은 그 비용이 다시 이용자에게 돌아가는 ‘사용자 효과(user-on-user effect)¹⁰⁾’와 그 비용이 해당산업과 무관한 제3자에게 돌아가는 ‘비사용자 효과(user-on-non-user effect)’로 구분된다.

‘사용자 효과’의 경우 교통체증이 대표적인 예인데, 일반적인 운전자는 체증유발에 대한 자신의 역할을 거의 고려하지 않기 때문에 체증비용이

10) 특정 집단으로 비용이 전가된다는 측면에서 클럽효과(club effect)라 부르기도 한다.

외부 비용으로 간주되지만, 궁극적으로 체증에 의한 외부 비용이 해당 도로에 있는 운전자에게 돌아온다는 측면에서 사회적으로 소득재분배 효과는 발생하지 않으며, 교통망의 경제적 효율성이 크게 감소하는 방향으로 외부 비용이 발생한다. 반면 ‘비사용자 효과’의 경우 외부 비용의 발생이 해당 산업과 무관한 제 3자에게 전가되는 것으로 대표적인 것이 대기오염물질과 소음 등과 같은 환경오염이다. 이는 타인의 부(wealth)가 임의로 전가되는 것을 의미하므로 소득재분배 차원에서 시장 실패를 야기한다. 우리가 흔히 외부비경제(external diseconomy)라고 말하는 부분도 바로 ‘비사용자 효과’를 의미하는 것으로 다양한 정책 개발을 통하여 이를 내부화시켜야 할 것이다.

4. 운송수단의 환경비용 추정에 대한 국내외 사례

운송수단에 의해 발생하는 환경비용을 추정하는 연구는 유럽과 미국을 중심으로 활발하게 추진되어 왔으나 우리나라에서는 아직 이에 대한 논의가 활발하지 못한 상태이며, 최근 교통개발연구원을 중심으로 육상교통의 환경비용 추정이 시도되고 있는 상황이다. 그동안 국제적으로 환경에 대한 관심이 급격히 높아지고 있음에도 불구하고 대표적 환경오염인자인 운송수단에 대한 환경비용 추정이 미진하였던 것은 국내에 환경오염을 화폐가치로 환산할 수 있는 방법론이 최근에야 도입되었기 때문이기도 하지만, 무엇보다도 운송수단에서 야기되는 환경오염속성이 너무나 다양하기 때문이기도 하다.

1) 외국의 연구사례

유럽과 미국을 중심으로한 운송수단의 환경비용 추정은 환경경제이론의 발달과 함께 다양한 방법으로 추진되어왔다. 또한 최근에는 운송수단에서 발생하는 환경오염 속성별로 다양한 연구가 시도되고 있다.

유럽에서는 1980년대 들어 운송수단별 오염비용 추정이 집중적으로 이루어졌다. 특히 독일과 스위스를 중심으로 이루어진 운송수단별 오염비용 추정에서는 <표 II-19>와 같이 트럭에 의한 도로 수송이 철도와 해상운송에 비해 국가별로 1~5배정도 높은 것으로 나타났다.

<표 II-19>

운송에 의한 오염발생비용

단위 : 0.01ECU

연구기관	국가	연도	오염비용		
			공로	철도	해운
Grupp	스웨덴	1986	0.18-0.82	0.05-0.20	0.06-0.25
Marbuger	독 일	1985	0.05-0.12	0.01-0.02	0.01-0.02
Planco	독 일	1986	0.07-0.17	0.01-0.02	0.01-0.02
Henz et al.	독 일	1984	0.04-0.20	0.01-0.03	0.01-0.03
Pillet	스위스	1985	0.78-1.25	0	0
Infras	스위스	1990	0.55-1.53	0	0
EcoPlan	스위스	1989	4.66	-	-
Planco92	독 일	1985	1.33	0.06	0.16

자료 : Emile Quient, "The Social Costs of Transport: Evaluation and Links with International Policies", Internalising the Social Costs of Transport, ECMT, 1994.

주 : 여기에서 추정된 오염비용은 공로, 철도, 해운 모두 톤-Km당 운임임.

한편 독일에서는 1993년에 오염원별로 트럭, 전철, 철도 등 육상교통수단에 대한 오염의 사회적 비용을 추정하였으며, 트럭에 의한 환경오염의 사회적 비용이 전철의 3배, 철도의 2배 가량 높은 것으로 나타났다. 특히 트럭의 사회적 비용은 교통사고 부문에서 가장 높았으며, 대기오염 부문에서는 도로보다 철도가 더 높은 사회적 비용을 발생시키는 것으로 나타났다. 오염원별로 보면 트럭의 경우 대기오염의 사회적 비용이 총 사회비용의 절반에 육박하였으며, 철도의 경우 대부분의 사회적 비용이 대기오염 비용인 것으로 나타났다.

<표 II-20>

독일에서 육상교통수단의 사회적 비용(1993)

단위 : ECU/천톤

운송수단	대기오염	CO ₂	소음	교통사고	계
트럭	5.6	2.5	0.6	3.5	12.2
전철	0.8	1.9	0.3	1.4	4.4
철도	6.0	0.6	0.0	0.1	6.7

자료 : Per Kageson, "Effects of Internalisation on Transport Demand and Modal Split", Internalising the Social Costs of Transport, ECMT, 1994.

주 : 여기서 트럭은 장거리 전용(long distance only).

한편 미국에서는 피해함수기법과 헤도닉 가격기법을 이용하여 운송수단의 사회적 비용을 추정하여왔다. 델루치(2000)는 피해함수기법을 이용하여 1990~1991년의 자동차에 의한 사회적 비용을 추정하였다. 델루치는 자동차에 의해 발생하는 총 사회적 비용 가운데 3~16%가 환경오염에 의해 발생되며, 순수 외부 비용만을 고려할 경우 36~64%가 환경부문에서 발생한다고 하였다.

<표 II-21> 미국에서 자동차에 의한 사회적 비용(1990~1991)

단위 : 10억달러

오염구분	최저	최고
1. 환경의 외부비용	34	527
2. 화폐적 외부비용(사고와 체증의 화폐적 비용 등)	41	212
3. 비화폐적 외부비용 (사고의 교통비용, 체증의 비시장 비용 등)	44	98
4. 정부 인프라 및 서비스(고속도로, 고속도로 순찰 등)	131	247
5. 민간부문 무료 재화와 서비스(무료 주차 등)	76	279
6. 민간부문 재화와 서비스(자동차, 연료 등)	821	970
7. 사적 비시장 비용(개인의 사고위험감수 등)	527	968
합계	1,675	3,301

자료 : Mark Delucchi, "Environmental Externalities of Motor-Vehicle Use in the U.S.", Journal of Transport Economics and Policy, 2000.

한편 미국과 유럽 각국은 1980년대 이후 피해함수추정방법을 이용하여 소음의 사회적 비용을 화폐가치로 환산하여 왔다. 이들의 분석에 따르면 미국과 유럽 등 선진국은 소음이 야기하는 사회적 비용이 국민총생산(GNP)의 0.1~1.0% 수준이었다.

<표 II-22> 미국과 유럽에서 소음의 사회적 비용 추정

국가	출처	연도	GNP비율	비고
노르웨이	Ringheim	1983	0.06%	재산가치 감소
프랑스	Lambert	1986	0.08%	재산가치 감소
네덜란드	Opschoor	1986	0.02%	재산가치 감소
구소련	Wicke	1987	2.00%	재산가치와 생산성 감소
프랑스	Bouladon	1991	0.24%	
영국	Bouladon	1991	0.50%	
노르웨이	Nielsen, Solbeg	1987	0.30%	
독일	Weinberger	1992	1.40%	지불의사+건강피해
프랑스	OECD	1990	0.2~0.6%	바람직한 지출
	Merlin(1992)	1989	1.50%	모든 운송수단 포함
핀란드	Himanen et al.	1989	0.30%	보호비용
	Ministry 추정	1992	0.42%	
미국	The going rate	1992	0.20%	
	Bouladon(1991)	1990	0.10%	
호주	NRTC(1992)	1992	0.15%	
오스트리아	Hansson 등	?	0.10%	
스웨덴	Hansson 등	1992	0.40%	재산가치 감소
스위스	Hansson 등	?	0.10%	
독일	Dickman(1990)	-	0.20%	보호비용
	Planco(1990)	1985	0.15%	55데시벨(dB) 유지비용
			0.90%	45데시벨(dB) 유지비용
스위스	Jeanren명	1988	0.30%	재산가치 감소

자료 : Emile Quient, "The Social Costs of Transport: Evaluation and Links with International Policies", Internalising the Social Costs of Transport, ECMT, 1994.

2) 국내 연구사례

운송부문의 환경오염물질 배출 및 인체, 동식물, 자연환경에 미치는 영향과 관련된 국내 연구는 자연과학 및 보건학을 중심으로 비교적 다양하

게 이루어졌으나 이를 화폐적 비용으로 환산한 국내 연구실적은 미국과 유럽 등에 비해 상대적으로 전무한 실정이다.

임영식·전영섭·나성린(1993)은 서울시내 665가구의 속성자료를 이용하여 헤도닉 가격기법(Hedonic Pricing Method)으로 오존(O₃)의 농도가 0.03ppm에서 0.02ppm으로 개선될 경우에 대한 편익을 추정함으로서 오존의 단위 ppm당 환경비용을 계산하였다. 이들은 우리나라에서 대기오염물질에 대한 화폐적 가치 추정에 대한 선구자적 연구를 시도하였으나 운송 부문과 관련된 환경오염비용을 추정하는 데는 미치지 못했으며, 그나마 연구 대상 오염물질도 오존에만 한정되어 전반적인 환경오염비용을 추정하는 데는 미흡하였다.

한편 조준모(1996)는 복용반응관계(Dose-Response Relation)를 이용하여 이산화질소(NO₂)의 배출량과 호흡기질환 발생자수의 상관관계를 구한 후 피해함수추정법에 의해 재산 및 동식물에 대한 피해비용을 추정하였다. 그러나 조준모의 연구 역시 임영식·전영섭·나성린의 연구와 마찬가지로 운송부문과 연결시키지는 못했으며, 대기오염물질도 질소산화물에만 한정하여 종합적인 환경비용을 추정하는 데는 미흡하였다.

엄영숙(1998)은 전국에서 표본추출된 6,791가구의 2만 2,450명에 대한 면접조사를 통해 이들이 호흡기 질환 증상을 감소시키기 위해 지불하는 완화비용(mitigating expenditure)을 통해 오존 오염 감소의 한계편익을 계산하였다.

홍갑선(1999)은 「교통 관련 사회환경비용의 내재화방안」 연구를 통하여 처음으로 교통관련 사회환경비용을 추정하였다. 홍갑선은 교통부문의 사회환경비용을 ECMT의 구분에 따라 교통사고, 소음, 교통혼잡, 교통시설 공급 등으로 나누고 조준모(1996)의 연구 결과를 활용하여 1997년의 교통 관련 사회적 비용을 간접적으로 추정하였다.

또한 이성원·이명미(2000)는 교통부문에서 발생하는 대기오염 및 소음 등 여러 가지 환경피해의 화폐적 환산을 위한 방법론을 분석하고, 이 가운데 포괄적인 의미의 환경피해 추정이 가능하고 상대적으로 적은 자료 수집비용이 요구되는 헤도닉가격기법(Hedonic-Statesed Choice)을 통해 시범 추정을 시도하였다.

이와 같이 운송부문에서 발생하는 환경비용의 추정과 관련하여 국내의 연구는 방법론의 정립 단계에 머물고 있으며, 논의되는 방법론 역시 대기

오염물질 등 특정 환경속성에 한정되어 추진되고 있는 실정이다. 따라서 보다 정확한 환경비용을 추정하기 위해서는 운송부문에서 발생하는 환경속성을 종합적으로 고려하는 환경비용의 추정방법이 필요하다.

제 3 장 운송수단의 환경비용 추정

- 공로 및 연안 해운을 중심으로 -

1. 기존 환경비용 추정방법론 및 한계점

1) 환경비용 추정방법론의 발전 과정

환경오염과 같은 비시장재화의 가치추정 방법은 1930년대에 미국에서 공공시설의 건설을 위한 편익-비용분석(benefit-cost analysis)에서 비시장재화의 가치를 처음으로 인식한 이후 현재까지 크게 개선되어 왔다. 그것은 공공시설의 건설을 위한 편익-비용의 추정에서 분석 대상을 시장재화에 한정한다면 분석은 보다 간단해지지만, 이는 시장에서 거래되지 않으나 사람들이 가치를 부여하는 많은 대상에 대한 분석을 제외함으로써 분석 결과에 편익(bias)이 발생할 가능성이 높아진다는 점을 인식했기 때문이었다¹¹⁾.

따라서 미국 정부는 편익-비용분석의 초기부터 이러한 오류를 제거하기 위해 노력했다. 1934년에 미국의 국립자원이사회(National Resource Board Committee)는 수자원 개발의 비용을 산출하는 데 있어서 "만질 수 없는 요소에 의해 작용되는 부분(the played by intangible factor)"에 대한 연구의 필요성을 강조했으며, 1936년에 제정된 미국의 홍수통제법(Flood Control Act of 1936)에서도 "만일 사람들이 직면한 편익이 추정된 비용을 초과한다면 홍수의 통제를 위해 연방기금이 쓰여져야 하며, 그렇지 않을 경우 사회구성원이 부(-)의 영향을 입게 된다"고 언급하였다. 또한 편익-비용분석의 초기 바이블로 1950년에 발간된 'Green Book'에서도 비시장재화와 같은 무형의 재화를 "조심스럽게 다루어야 하며 화폐적 가치평가를 제공하지 않는다는 이유로 간과되거나 과소평가 되어서는 안된다"고 주장하였다(Hanemann, 1994).

11) 이러한 것을 우리는 흔히 '잘못된 정밀의 오류(the fallacy of misplaced precision)'라고 부른다. 일반적으로 '잘못된 정밀의 오류'란 정확도는 떨어지지만 올바른 것을 측정하기 보다는 잘못된 것에 대해 엄청난 정밀도로 측정하는 오류를 말한다.

비시장재화에 대한 가치평가가 경제학 내에서 본격화된 것은 공공효용 가격설정(public utility pricing)에 대한 Hotelling(1938)과 Samuelson(1968)의 분석에 기초한다. Hotelling과 Samuelson은 각각 소비자잉여와 생산자잉여의 합을 극대화하는 것이 적절한 후생기준이며, 공공재의 가치평가는 개별수요곡선의 수직적 총합에 기초해야 한다고 주장함으로써 새로운 후생경제학(new welfare economics)의 경지를 개척하였으며, 가치평가의 기준을 시장가격에서 수요·공급함수로 이전시켰다. 특히 수요함수와 공급함수는 기본적으로 경제주체의 행위에 관련되는 것으로써, 이들에 의한 파라다임의 변화는 경제학이 단순히 시장만을 연구하는 학문이 아니라 인간의 선호와 행위를 보편적으로 연구하는 학문임을 의미하는 것이기도 했다. 따라서 시장 수요함수를 관찰할 수 없는 비시장재의 경우에도 다른 수단을 통해 영향을 미칠 수 있는 잠재적인 수요함수는 여전히 존재한다는 판단 아래 이에 대한 가치를 평가하는 연구가 본격화되었다¹²⁾.

그럼에도 불구하고 비시장재화에 대한 초창기의 가치평가 방법은 궁극적인 화폐적 가치의 도출에 시장가격을 이용하였다. 우선 가치평가 대상에 대한 적절한 시장 가격을 확보한 후 시장의 불완전성으로 발생하는 요인을 일부 수정하고 여기에 수량을 곱하여 총편익을 계산하였다. 이러한 방법론은 그 후 「피해함수 접근법(damage function approach)」이란 모델로 발전되어 최근까지 후생에 대한 가치측정법을 주도하였다.

피해함수 접근법은 1단계로 환경오염 등에 의한 피해 혹은 손실에 대한 물리적 관계를 설정하고, 2단계로 이의 화폐적 가치를 계산한다. 예를 들어 어느 공장에서 오염물질 방출을 감소시킨 데 따른 편익을 계산하기 위해서는 먼저 오염물질을 대기로 방출한 데 따른 피해를 추정한다. 1단계로 대기오염과 물리적 관계가 있는 인근 주민의 호흡기질환 발생을 혹은 농가의 농작물 수확감소율 등의 변수를 선정한다. 2단계로는 이를 화폐적 가치로 환산하기 위해 호흡기질환으로 인한 근무일수 손실분 혹은 수확 감소분을 계산하기 위해 임금과 의료비 혹은 곡물의 시장가격을 적용한다. 따라서 피해함수 접근법에 의한 오염감소의 편익은 위의 피해감소분을 역산함으로써 추정되는 것이다.

12) 예로써, 교량을 건설하는 경우 무임승차의 유인으로 인해 비용을 지불하려는 사람은 없지만 교량 자체에 대한 수요는 존재하며, 이 경우 교량의 가치는 수요함수의 밀면적이 된다는 것이다.

그러나 이와 같은 피해함수 접근법이 경제학적으로 비판의 대상이 되는 점은 이 방법이 근본적으로 오염증가에도 불구하고 다른 경제적 주체의 행위가 변하지 않는다고 가정하기 때문이다. 사실 시장 내의 개별 경제주체들은 오염이 증가함에 따라 자신의 경제적 행위를 변경시키며 이것이 시장에 다시 영향을 미쳐(feedback) 최적값의 변화를 초래할 것이다. 즉 개별 경제 주체는 해당 공장에서 대기오염을 심하게 유발할 경우 공기정화기를 구입하거나 혹은 다른 지역으로 이주할 것이며, 농가의 경우 농사를 포기하던가 공해에 강한 종자를 재배하는 등의 반응이 일어난다는 것이다. 또한 시장에서는 농작물의 수확 감소에 따라 곡물가격이 상승할 것이며, 병원에 대한 수요 증가는 의료비 증가를 야기할 가능성이 있다.

일반적으로 오염증가가 인간의 후생에 미치는 영향은 곡물의 물리적 수확량 감소분보다는 곡물 가격의 변화가 더 큰 요인으로 작용하게 된다. 이러한 측면을 고려할 때 비시장재화의 가치추정은 이의 질적 변화로 인한 정태적 가치추정법보다는 개별 경제주체 혹은 시장에서의 반응이 가미된 동태적 가치추정법으로 변화되어야 하며, 이러한 측면에서 보다 새로운 가치추정 방법을 개발해야 할 필요성이 높아졌다.

2) 최근의 비시장재화 가치추정 방법론

(1) Mitchell and Carson의 구분

비시장재화의 가치추정법은 전통적으로 Mitchell and Carson(1989)의 구분에 따른다. 이들은 첫째, 관측 자료가 사람들의 실제 행위에 대한 관찰에 의한 것인가 혹은 가설적인 상황에 대한 설문을 통해 얻어진 것인가의 여부, 둘째, 화폐적 가치가 직접 유도되는가 혹은 다른 변수를 통해 간접적으로 추정되는가의 여부 등에 의해 다음 4가지 방법을 제시하였다.

<표 III- 1> 네 가지 가치추정 방법론

행위의 발생 화폐가치	실제 행위	가설적 질문
직접적	(직접 관찰) 경쟁시장 가격 모의시장	(직접가설) 조건부가치평가법 다속성효용평가법
간접적	(간접 관찰) 여행비용접근법 헤도닉가격모형 회피행동모형 국민투표	(간접 가설) 조건부 순위 조건부 행위 조건부 투표

자료 : Mitchell and Carson(1989), p.75.

① 직접관찰법(Direct Observation Method)

직접관찰법은 관측 자료가 사람들의 실제 행위를 직접 관찰함으로써 얻어지며, 화폐적 가치도 직접 얻어지는 방법론으로 일반적인 시장재화의 가치 추정에 사용된다. 그러나 비시장재화의 경우 이러한 방법을 이용하여 가치를 추정하기 위해서는 임의로 추출된 사람들을 특정한 목적에 따라 상황이 부여된 모의시장에 참여시켜 여기서 나타난 관측 자료를 사용하기도 한다.

직접관찰법에 의한 관측 자료는 실제 시장 혹은 모의시장에서 효용을 극대화하는 경제주체들에 의해 이루어진 실제 선택에 기초하고 있으며, 또한 이들의 선택은 가치에 근거해서 이루어지기 때문에 관측 자료에 화폐적 가치가 직접 나타나게 된다.

② 간접관찰법(Indirect Observation Method)

간접관찰법은 관측 자료가 효용극대화를 추구하는 경제주체의 실제 행위를 바탕으로 하지만 특정 재화의 화폐적 가치가 직접적으로 언급되지 않기 때문에 간접적인 경로를 통해 화폐적 가치를 추정하는 방법이다. 간접관찰법의 대표적인 방법으로는 투표형 방법, 헤도닉 소유가치 모델, 여행비용 접근법 등이 있다.

투표형 방법은 관심 대상 재화의 특정 수량을 특정 가격으로 투표에 붙여 경제 주체의 응답을 파악하는 방법이다¹³⁾. 또한 헤도닉가격모형은

13) 경제주체의 양분된 선택으로부터 적정 가치를 추출하기 위해서는 discrete choice and random utility model등과 같은 모델이 이용된다.

환경재와 같이 시장에서 구체적인 가격이 형성되지는 않지만 환경서비스의 양이 시장재화의 양에 대한 소비자의 선택에 영향을 미치는 경우, 시장재와 환경서비스 사이의 관계에 대한 회귀분석을 통해 환경서비스의 가치를 추정하는 방법이다. 헤도닉가격모형은 주택 거래에 대기환경이나 주변 환경이 끼워 판매된다는 점에 착안하여 주택의 가격을 가능한 모든 속성으로 분해한 후 환경재에 부과한 금액만을 추출하는 것이다.

③ 간접가설법(Indirect Hypothetical Method)

간접가설법은 관찰 자료가 실제 상황에 의한 것이 아니라 가설적인 상황을 통해 얻어지는 한편, 화폐적 가치도 간접적인 방법으로 유도되는 방법이다. 따라서 간접가설법은 화폐적 가치를 유도하는 방법 면에서는 간접관찰법과 유사하나 분석되는 자료의 출처가 경제 주체에게 가설적인 상황을 부여하여 얻어졌다는 점이 다르기 때문에 가치의 추정방법은 간접관찰법의 방법론을 사용한다.

McConnell(1986)은 메사췌세츠주의 뉴베드폴드(New Bedford)항만의 폴리염화비페닐(polychlorinated biphenyls: PCB) 오염 피해를 추정하기 위해 ‘만일 PCB 오염이 되지 않았을 경우’라는 가설적인 상황을 부여한 후 "이 곳을 얼마나 자주 방문하겠는가?"라는 조건부 행위(Contingent Behavior)의 자료를 이용하여 여행비용 수요모델을 통한 분석을 시도하였다.

간접가설법의 대표적인 방법으로는 조건부 순위(Contingent Ranking), 조건부 행위, 조건부 투표법이 있으며, 조건부 순위법은 환경서비스의 수준과 기타 다른 속성(방문자수, 체증 수준, 입장료 등)이 각각 다른 수준으로 표기된 여러장의 카드를 각 개인에게 제시하고 자신의 선호에 따라 배열토록 하는 방법이다¹⁴⁾. 또한 조건부 행위법은 가설적인 상황에서 자신의 행동을 얼마나 변화시키겠는가를 질문하는 것이고, 조건부 투표법은 가설적인 상황에서 특정 금액의 화폐를 지불할 용의가 있는가를 예와 아니오의 질문으로 묻는 방법이다. 특히 조건부 투표법의 경우 최근에 조건부가치추정법(Contingent Valuation Method)의 대표적인 접근 방법으로 인식되고 있으며 사용 분야도 폭넓게 확장되고 있다.

14) 조건부 순위법을 사용한 대표적인 연구로는 Charles River Associates(1981)의 국립공원 경관에 대한 가치 측정과 Smith and Desvousges(1986)의 강 하구에서 수질 개선의 편익 연구 등이 있다.

④ 직접가설법(Direct Hypothetical Method)

직접가설법은 경제 주체에게 가설적인 상황을 부여한 후 특정 재화에 대한 화폐적 가치를 직접 묻는 방법으로, 조건부 가치평가법에서 개인의 최대 지불의사를 유도하기 위해 사용되었던 대표적인 방법이다. 이 방법은 경제 주체에게 환경서비스에 대한 일종의 가상적인 시장을 개설한 후 이 서비스의 양이 변화하는 데 대한 자신의 지불의사 가치를 직접 질문하거나 혹은 주어진 가격에서 해당 환경서비스를 얼마만큼 구매하겠다는가를 직접 질문하는 방법이다.

이와 같은 4가지의 가치 추정법을 이용하여 비시장재화의 가치를 추정하기 위해서는 경제학의 이론적 틀이 필요하다. 특히 가상적인 재화를 설정하여 설문 대상자에게 화폐적 가치를 직접 질문하는 직접적 가치추정법과는 달리 간접적 가치추정법에서는 개별적 행위를 화폐적 가치로 연결하는 경제적 이론적 틀은 필수적이라 할 수 있다.

경제학적인 틀의 핵심적인 요소는 환경재의 질적 수준이 내재된 재화에 대한 개인의 선택 행위를 개인의 최적화 모델 안에서 구체화하는 것이다. 즉 관찰된 선택변수(choice variable)와 환경재의 질적 수준과의 관계가 구체적으로 추정될 수 있다면 이를 이용하여 관찰된 선택변수와 환경재의 질적 수준간의 한계대체율(MRS)을 계산할 수 있다는 것이다.

따라서 간접적 가치추정법에서는 다음과 같은 3가지 단계를 거쳐 개인의 선택 행위를 화폐적 금액으로 연결시킨다. 첫 번째 단계는 개인의 효용이 일정하게 유지된다는 가정 하에 간접효용함수나 지출함수와 같은 함수적 형태로 환경에 대한 개인의 지불의사를 구체화시키는 단계이다. 이는 환경적인 질이 변화될 때 개인의 효용을 불변으로 유지하기 위해 지불해야 하는 화폐적 금액을 나타낸다는 측면에서 보상적인 변화(compensating change)를 의미한다. 두 번째 단계는 환경재의 질적 수준이 포함된 재화의 구체적 가격 및 제약을 각 개인의 선택과 연결시키는 효용극대화 모형을 개발하는 것이다. 여기에서는 환경재가 포함된 재화의 한계가치와 가격을 일치시키거나 MRS 혹은 MRT를 가격의 비율과 일치시키게 된다. 마지막으로 환경 변화의 한계가치와 관측 가능한 변수 사이의 관계가 1차 조건(first order condition)에 포함되었는가를 보기 위해 모델을 검증하게 된다. 세 번째 단계인 검증 과정이 완료되면 관측 가능 변

수는 후생의 한계변화에 대한 측정치로 사용할 수 있게 된다.

(2) 환경 및 자원의 가치추정 과정

환경재의 가치 추정을 위해서는 앞에서 언급한 바와 같이 환경재에 대한 개인의 선택을 화폐적 가치로 연결시키는 경제이론이 필수적이다. 그러나 여러 가지 경제적 이론과 기법을 이용하여 가치를 추정한다고 하여도 환경재와 같은 비시장재화는 여러 가지 경제 외적 지식이 기반을 이루고 있다. 특히 환경재에 대한 경제적 가치 평가를 위해서는 특히 자연과학적 지식이 기반을 이루고 있어야 한다.

해양 어류를 보호하기 위한 해수 소택지의 가치 평가를 위해서는 Elles 등(1987)이 추정한 바와 같이 물고기의 생활과 소택지 사이의 생물학 및 생태학적 고리에 대한 지식을 기반으로 하며, 대기오염의 개선이 인간의 건강에 미치는 편익을 추정하기 위해서는 Lave and Seskin(1977)이 적용한 바와 같이 오염원의 농도가 인간의 건강에 어떠한 영향을 미치는가 하는 임상적인 지식이 필요하다. 또한 수질오염의 개선이 낚시 동호인에 미치는 편익을 추정하기 위해서는 수질의 오염수준, 생물학적 산소요구량(BOD)과 같은 자연과학적 지식 이외에도 낚시꾼의 행위에 대한 심리학적 지식이 필요하다. 만일 위에서 제시한 경제이론과 자연과학 및 기타 학문과의 유기적인 연계가 없을 경우 환경재와 같은 비시장재화의 가치추정은 불가능할 것이다.

여기에서는 환경재에 대한 경우를 예로 들어 비시장재화의 가치에 대한 경제적 개념과 이의 추정을 위해 필요로 하는 물리학 및 생물학적 관련성을 실험하는 Freeman(1994)의 모델을 제시한다. Freeman은 환경 및 자원서비스의 경제적 가치는 다음 세 가지 집합의 함수적 관계의 산물로 해석 가능하다고 하였다.

첫 번째 함수적 관계는 환경 및 자원의 질을 인간의 행위와 관련시키는 것이다. 그는 상업적 혹은 위락적 관점에서 어떤 어종의 생물량(biomass), 삼림 내에서의 목재량 혹은 대기에서 오염원의 농도 등과 같은 환경재의 정량적 혹은 정성적 속성을 나타내는 변수를 q 라고 하고, 여기에 대한 인간의 개입은 다음 두 가지로 해석된다고 하였다. 그 하나는 상업적인 어류의 남획 및 대기로의 오염원 방출 등과 같이 시장경제 하에

서 규제되지 않은 활동이고, 다른 하나는 환경이 제공하는 시장 및 비시장 서비스의 가치를 증진하거나 보호하고 규제되지 않은 시장 활동의 부정적 영향을 개선 혹은 금지시키기 위한 정부의 활동이 그것이다. 만일 정부의 개입을 나타내는 변수가 S 라면 환경 수준 q 는 S 에 의해 크게 영향을 받으므로,

$$q = q(S) \quad (1)$$

의 관계를 가정할 수 있다. 한편 정부가 환경 수준 q 에 영향을 미치는 사적 활동을 규제할 경우 S 의 변화가 q 에 영향을 미치기 위해서는 공적 규제에 대한 사적 의사결정자의 반응을 나타내는 개인들의 정책 순응의 정도 R 에 대한 정보가 필요하다. 특히 정부의 정책이 개인에게 직접적인 영향을 미치기보다는 다른 효과를 통해 간접적으로 영향을 미칠 경우 개인들의 정책 순응 정도에 대한 정보는 더욱 중요하다. 그 예로 정부가 서울시의 대기오염(q)을 막기 위해 자동차의 오염방출 기준(S)을 강화할 경우, 정부의 오염 방출 기준 강화(S)는 개인의 자동차 사용 감소(R)를 통해 대기오염의 개선을 간접적으로 달성하려는 것이므로 서울 시민들이 정부의 정책에 대응해서 자동차 사용을 얼마만큼 줄일 것인가를 미리 파악해야 한다. 따라서 이를 종합적으로 고려하면 (1)식은 다음과 같이 수정될 수 있다.

$$q = q[S, R(S)] \quad (1')$$

두 번째 함수적 관계는 인간이 환경 및 자원재를 사용하는 정도와 이것이 환경재의 질적 수준 q 에 미치는 관계이다. 인간은 일련의 경제활동을 통해 환경 및 자원재를 소비하므로 이 때 인간이 행하는 일련의 경제활동 수준을 X 라고 하자. 상업적인 어획활동은 바다 속의 어족 감소와 밀접한 관련이 있으며, 강 혹은 계곡에서의 레크레이션 활동은 하천 및 산림 훼손과 밀접한 관련이 있으므로 이들은 모두 X 에 포함될 수 있다. 일반적으로 인간의 경제활동 수준 X 는 환경재의 질적 수준 q 뿐만 아니라 이를 위해 투입된 노동, 자본, 시간 및 기타 자원에도 의존한다. 따라서 Y 를 환경 및 자원재의 소비를 위해 투입된 기타 투입물이라 할 때 인간의 경제활동 수준 X 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$X = X[q, Y(q)] \quad (2)$$

세 번째의 함수적 관계는 앞에서 우리가 언급한 환경재의 사용에 따른 경제적 가치의 관계이다. V 를 환경 및 자원재의 사용에 기초한 경제적 활동 혹은 서비스의 화폐적 가치라고 가정하면 V 는 다음과 같다.

$$V = V(X) \quad (3)^{15)}$$

지금까지 언급한 세 가지의 함수적 관계가 모두 적용된다는 점을 보이기 위해 다음과 같은 예를 고려하자. 예로 환경재의 질적 수준(q)을 증대시키기 위해 정부가 개입(S)할 때 사회 전체적으로 발생하는 편익(B)은 (1')와 (2)식을 (3)식에 대입함으로써 유도될 수 있다.

$$V = f[S, R(S), Y[S, R(S)]] \quad (4)$$

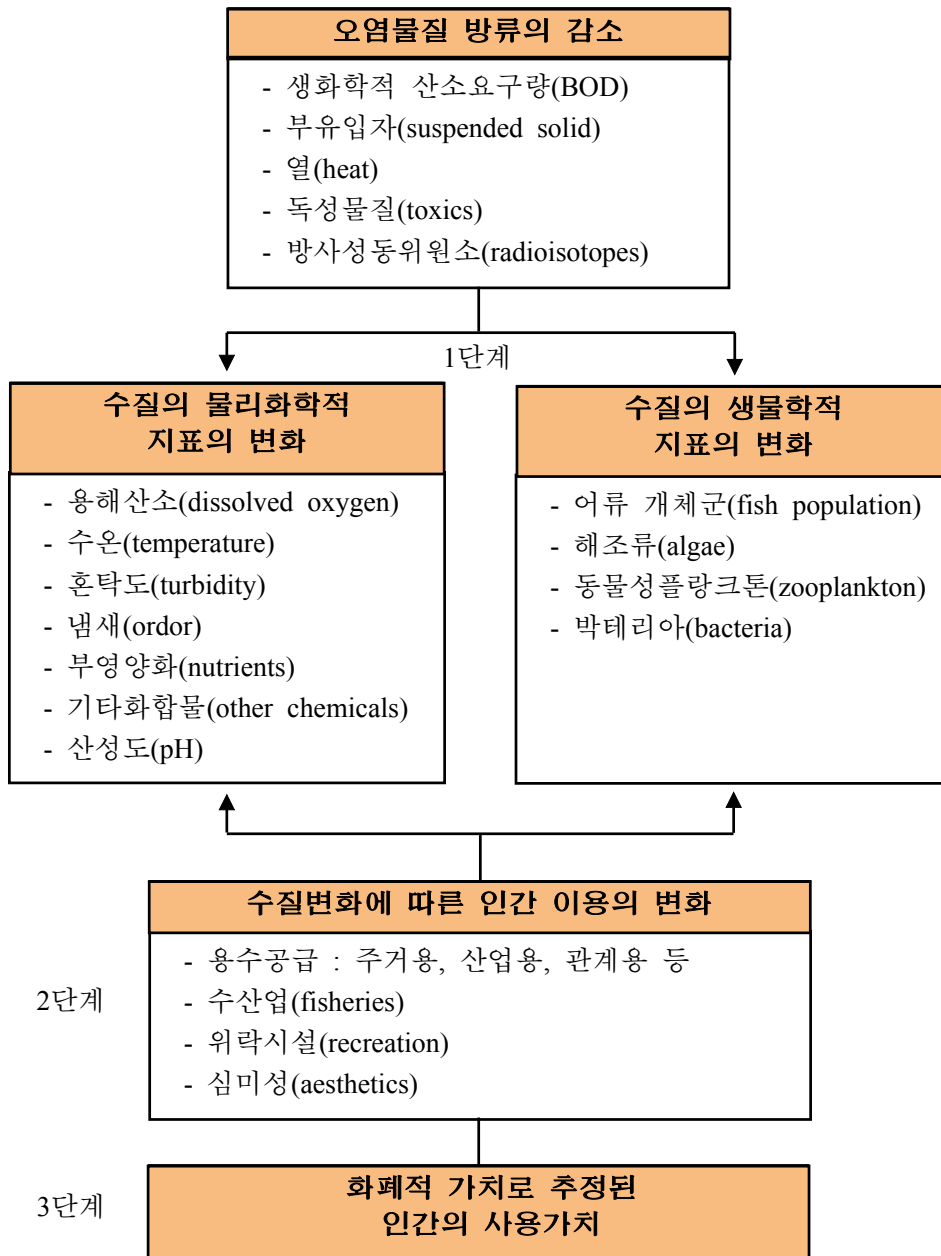
환경재의 질적 수준 q 를 증대시키기 위한 정부의 개입은 과거의 정책 수준 S^1 에서 현재의 정책 수준 S^2 로 변경되었음을 의미하며, 이에 따른 편익의 화폐적 변화(ΔV)는 다음과 같다.

$$B = \Delta V = f[S^2, R(S^2), Y[S^2, R(S^2)]] - f[S^1, R(S^1), Y[S^1, R(S^1)]] \quad (5)$$

위의 세 가지 함수적 관계를 구분해 보면 (1')식에 의해 제시된 함수적인 관계는 대기오염이 인간의 건강 및 사망률에 미치는 영향 등과 같이 다양한 물리학 및 생물학적 과정을 포함하고 있기 때문에 특성상 완전히 비경제적 영역이며, (3)식에 의해 제시된 관계는 후생경제이론과 경제적 자료를 사용하고 있기 때문에 완전히 경제적인 영역이다. 따라서 (2)식에 반영된 함수적 관계는 자연과학과 사회과학 사이를 연결해 주는 공유영역으로 볼 수 있다.

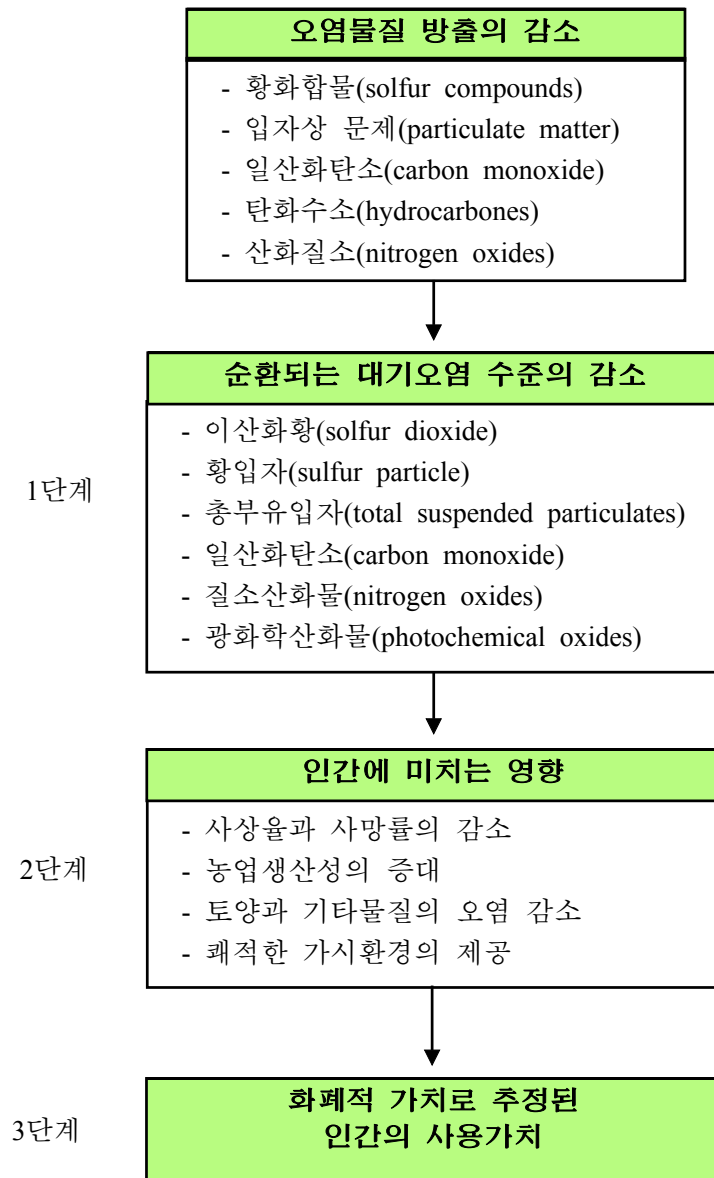
15) 여기서 $V(X)$ 는 사회 구성원 개개인의 가치를 모두 더한 것으로 가정하고 있다. 그러나 후생경제학의 여러가지 정의에 의해 $V(X)$ 는 사회적 후생에 대한 가중치의 합으로 볼 수도 있다. 또한 $V(X)$ 는 환경적 윤리 혹은 사회적 규범이 일체화된 개념으로 볼 수도 있다.

<그림 III-1> 순환되는 수질 개선을 통한 편익의 발생 과정



자료 : Freeman, A. M., The Measurement of Environmental and Resource Values, Resources for the Future, Washington, D.C., 1994.

<그림 III-2> 순환되는 대기질 개선을 통한 편익의 발생 과정



자료 : Freeman, A. M., The Measurement of Environmental and Resource Values, Resources for the Future, Washington, D.C., 1994.

자연 환경의 변화가 인간에게 화폐적 가치로 영향을 미치는 과정을 보이기 위해 <그림 III-1>의 하천 수질개선에 대한 편익 측정을 예로 들어 본다. 예로써 중량천은 과거 상류 지역에서 염색 공장의 폐수와 생활오수 등의 유입으로 이미 크게 오염된 상태이다. 그러나 최근에는 중량천으로 유입되는 각종 오수에 대해 하수종말처리시설을 함으로써 하천의 수질이 크게 개선되고 있다. 이와 같이 오염물질의 유입 감소는 1단계로 하천의 용해 산소, 수온, 해조류의 상태 및 생존가능 어류 등과 같은 수질의 물리, 화학 및 생물학적 지표의 개선을 야기하며, 이의 측정은 순수 자연과학적 영역에 해당한다. 다음으로 2단계는 자연과학과 사회과학의 공유영역으로써 수질 지표의 개선이 하천에 대한 인간의 이용 범위에 영향을 미친다는 것이다. 즉 수질의 개선으로 산업용 및 지역적 용수 공급을 위한 인간의 사용량이 증가하는 한편 낚시와 물놀이 등 레크리에이션을 위한 하천의 이용이 증대한다는 것이다. 3단계는 완전히 경제적인 영역으로써 수질 개선에 따른 인간의 용수 이용 증가와 레크리에이션의 기회 증가 등에 부과하는 화폐적 가치의 결정이 이루어지는 단계이다. 이를 위해서는 잘 정의되어진 경제적 가치이론이 필요하다.

3) 기존 가치추정 방법론의 한계점 및 대안

이와 같은 과정을 반영하여 최근까지 환경오염이나 기타 사회적 비용을 추정하는데 주로 사용되는 가치추정방법론은 간접관찰법으로 헤도닉 가격모형(HPM)과 여행비용모형(TCM), 직접가설법으로 조건부가치평가법(CVM)이다. 헤도닉가격모형과 여행비용모형은 경제주체의 행위에서 현시되는 자료를 통해 수요함수를 추정한 후 환경재에 대한 경제주체의 지불의사(willingness to pay)를 간접적으로 계산하는 방법이며, 조건부가치평가법은 수요함수를 추정하지 않고 가설적인 상황을 설정한 후 잠재적 이용자들에게 직접 지불의사를 물어보는 방법이다.

그러나 이와 같은 가치추정 방법은 환경오염의 개별 속성에 대한 경제주체의 지불의사를 평가하는 데는 유용하게 적용될 수 있으나 운송수단의 환경비용 추정과 같이 산림피해, 농지피해, 건강피해, 수질악화, 지구온난화 등과 같은 복합적인 환경속성의 추정에는 개별속성의 수만큼 추정을 반복해야 한다는 문제점이 발생한다.

또한 다음 쪽의 <표 III-2>에서 보는 바와 같이 환경경제학에서 제시하

는 환경비용의 화폐적 가치추정 방법은 환경재의 속성에 따라 적용할 수 있는 방법론이 제한되어 있다. 즉, 헤도닉가격기법은 소유권의 구매를 통하여 현시되는 자료를 바탕으로 하기 때문에 영향범주가 소유권의 구매 자체가 불가능한 경우 적용할 수 없으며, 여행비용접근법은 해당 사이트를 방문한 여행객의 시간비용을 포함한 총 비용을 추정하기 때문에 먼지 피해나 쓰레기 매립장과 같이 방문객이 없는 경우 적용 자체가 불가능하다. 또한 피해함수접근법은 오염발생에 대한 영향을 극소화하기 위한 사람들의 지출을 통해 가치를 추정하기 때문에 시정거리 등과 같이 지출을 통해 개선이 불가능한 속성에 대해서는 적용이 어렵다.

한편 <표 III-2>에서는 이러한 모든 속성에 대해 적용이 가능한 방법론으로 조건부가치추정법(CVM)과 다속성효용평가법(MAUA)이 제시되고 있다. 따라서 우리가 목표로 하는 운송수단의 환경비용 추정에는 산림훼손, 농업피해, 인간피해(사망률, 질병률), 소음, 수질악화 등을 종합적으로 추정하기 위해서는 조건부가치추정법(CVM)이나 다속성효용평가법(MAUA)을 적용해야 할 것이다.

그러나 조건부가치추정법(CVM)의 경우 많은 환경속성이 동시에 포함된 가상적 상황을 설계하여 이를 동시에 추정하기 위해서는 CVM의 치명적인 약점으로 지적되는 비구분효과(imbedding effects)¹⁶⁾와 순서효과(ordering effects)¹⁷⁾ 등의 문제점을 극복하기 어렵다는 문제가 있다. 따라서 CVM을 이용하기 위해서는 많은 속성에 대한 반복적인 추정이 불가피하고 이 경우 많은 비용을 야기하기 때문에 경제적인 대안은 아닐 것으로 판단된다.

-
- 16) 비구분효과는 조건부가치평가의 설문대상자가 범위에 대해 혼동함으로써 발생되는 오류이다. 이기호(1997)는 한강과 4대강(한강, 낙동강, 금강, 영산강)의 가치를 묻는 질문에서 설문대상자가 이를 구분하지 못함을 보였다.
- 17) 순서효과는 A라는 속성의 가치를 물은 후 B라는 속성의 가치를 묻는 경우와, 반대로 B라는 속성의 가치를 물은 후 A라는 속성의 가치를 묻는 경우 응답자가 가치를 다르게 말하는 것을 말한다.

<표 III-2> 환경부문의 가치추정 방법론 적용가능성

환경재	영향범주	가치추정기법				
		HPM	TCM	ABM	CVM	MAUA
대기질	사망률(mortality)	△	△	○	○	○
	질병률(morbidity)	△	△	○	○	○
	시정거리(visibility)	○	○	×	○	○
	농업생산감소	○	×	△	○	○
	먼지피해	×	×	○	○	○
	산림훼손	×	△	×	○	○
	재료피해	×	×	△	○	○
	기후변화	×	×	×	○	○
수질	음용수(사망률, 질병률)	△	×	○	○	○
	수산물(스톡)	×	×	△	○	○
	생태계(종의 감소)	×	×	×	○	○
	외형미(악취, 탁도)	○	△	○	○	○
	낙시	△	○	×	○	○
	물놀이	△	○	×	○	○
자연환경	습지(wet land)	×	○	×	○	○
	국립공원(National Park)	×	○	×	○	○
	갯벌	×	○	×	○	○
	철새도래지	×	○	×	○	○
	천연기념물(광릉 크낙새)	×	○	×	○	○
	사막(desert)	×	○	×	○	○
	바닷가에 인접한 발전소	○	×	×	○	○
쓰레기 처리	쓰레기 매립장	○	×	×	○	○
	쓰레기 야적장	○	×	×	○	○
	쓰레기 소각장	○	×	×	○	○
기타	토양오염	×	×	×	○	○
	소음	○	×	○	○	○
	유류 유출 해상오염	△	×	×	○	○
	솔잎혹파리 방제	△	×	×	○	○

자료 : 한국원자력연구소, 「원자력발전에 의한 대기개선편익의 경제적 가치추정」, 2000.

주 : 1) ○ : 사용가능 또는 기적용, △ : 적용 가능하지만 사례가 없거나 제한적으로 적용 가능, × : 적용 불가능

2) HPM : 헤도닉가격기법, TCM : 여행비용접근법, ABM : 회피행동분석법, CVM : 조건부가치추정법, MAUT : 다속성효용기법

2. 다속성효용기법(MAUA)을 이용한 환경비용 추정

우리는 앞에서 환경재를 추정하는 방법들에 대해서 간략하게 설명을 했으며, 우리가 목적으로 하는 운송수단의 환경비용 추정을 위해서는 다속성효용이론(MAUT)에 조건부가치추정기법(CVM)이 결합된 다속성효용평가법(MAUT/CVM, 즉 MAUA)이 가장 적합하다는 결론을 도출하였다. 여기에서는 MAUT의 이론적 개요를 소개하고 이를 이용하여 공로운송과 해상운송의 환경비용을 추정한다.

1) 이론적 개요

MAUT는 경영학의 의사결정분석(decision analysis)에서 주로 사용되었으며 Gregory 등(1993)에 의해 처음으로 환경재의 가치평가에 적용할 수 있음이 알려졌다. 그는 환경가치의 다차원적 성격과 인간선호의 구조적 성격에 보다 주의를 기울임으로써 MAUT를 통해 비시장재인 환경재의 가치평가를 개선시킬 수 있다고 주장하면서 통상적인 CVM으로부터 MAUT로의 전환을 통한 환경재의 가치측정을 처음으로 제안하였다. 이 방법은 ‘사회적으로 바람직함’을 의미하는 ‘사회적 가치(societal value)’에 근거하여 환경재의 가치를 평가한다.

이에 Hanemann and Kaninnen(1996) 등 경제학자들은 통상적인 MAUT가 환경재의 가치에 대한 사람들의 지불의사(WTP, 또는 WTA)라는 후생경제학적 관점을 수용하지 못하므로 여러 대안을 평가하는 하나의 지수로서는 충분히 그 역할을 수행할 수 있지만 비용-편익 분석이나 공공프로그램에서 화폐적 가치를 제시하는 후생개념으로는 사용할 수 없다고 주장하였다.

이러한 주장을 받아들여 Dale 등(1996)은 MAUT에 WTP를 적용하는 다속성효용평가법(Multi-Attribute Utility Assessment; MAUA)을 처음으로 적용하여 산림생태계 보존에 대한 가치를 측정하였다. MAUA는 MAUT에서 발생하는 선호의 구조적 유도절차와 CVM의 설문기법 및 가치의 후생개념을 결합시킴으로써 다차원적인 가치측정에 대해 응답자들의 인식과정을 보다 단순화했으며, 통상적인 CVM에 비해 응답자에게 요구되는 판단과 결정이 획기적으로 단순화되어 인식상의 부담을 줄인 것으로 평가되고 있다. 이 두 방법의 특징을 비교하면 <표 III-3>과 같다.

<표 III-3> 다속성효용이론법(MAUT)과 다속성효용평가법(MAUA)의 비교

구 분		통상적 다속성효용이론법 (conventional MAUT)	다속성효용평가법 (MAUA)
공통점	근거이론	다속성효용이론	
	가치유도	구조적 접근방법을 이용한 설문조사	
차이점	배 경	의사결정분석 (decision analysis)	환경가치측정 (envitonmental valuation)
	대상가치	사회적가치 (societal value)	지불의사액 (willing to pay)
	영 역	환경경영	환경경제
	활 용	전력계획 대안의 비교평가	환경비용의 계량화
	연구기간	상대적으로 짧게 걸림	상대적으로 오래 걸림
	연구비용	상대적으로 저비용	상대적으로 고비용

(1) MAUT의 구체적 설정단계

① 1단계: 속성의 결정

1단계는 연구목적에 명확히 하고 이와 관련된 속성들을 결정하는 단계로 대안평가에 직접적으로 관련되므로 가장 먼저 이루어져야 할 중요한 단계이다. 예를 들어 어느 환경오염 배출산업에서 환경경영 관련 의사결정을 한다고 가정하자. 우선 ‘부정적(adverse) 환경영향의 최소화’란 종합목표의 달성을 위해 주요 환경영향속성들을 결정한다. 기본적인 방법은 이 산업의 생산활동으로 인한 잠재적 환경영향의 구성요소를 잘 이해하고 있는 전문가를 대상으로 한 인터뷰 시행과 과학적 근거 확보를 위한 문헌조사일 것이다. 이를 바탕으로 불필요한 속성을 제외하면서 꼭 필요한 중요한 속성을 결정할 수 있다. 속성선택 기준에서 가장 중요한 것은 분석의 범위를 어떻게 정하느냐가 문제인데 의사결정자에게 직접적으로 중요한 문제들에 대해서만 검토하는 방식으로 한계를 정하는 것이 바람직하다.

② 2단계: 속성수준의 정량화

속성수준을 정량화할 때 선택된 속성에 대한 잠재적인 범위를 고려 중인 대안 또는 정책범위에 걸쳐 가장 낮은 수준에서 가장 높은 수준까지 정하는 것이 유용하다. 예를 들어 공해물질을 배출하는 공장의 경우, 오염 물질 속성의 하한은 새로운 오염물질의 방출이 없다면 대체로 0이 될 것이다. 상한은 기존의 연구결과를 이용하거나, 복용-반응함수(dose-reponse)에 근거한 대기확산모형 등의 공학적 모형을 이용하는 과학적인 분석을 통해 결정될 수 있다.

③ 3단계: 가정의 적절성 확인

MAUT는 일련의 공리에 근거하여 개별 속성에 대한 효용함수들을 체계적인 형태로 결합함으로써 속성들이 의미하는 바를 명확히 한다. 결합된 모형의 기능적 형태, 즉 지수설정을 위한 가치모형의 기본적 형태는 대안들의 속성에 대한 독립성의 유무에 의존한다. 효용함수의 집합에 영향을 주는 속성독립은 선호독립(preferential independence), 효용독립(utility independence), 가법독립(additive independence)의 세 가지가 있다. 세 개의 독립조건이 모두 만족될 때 가법형(additive)이 적절하며(Fishburn, 1965), 만약 독립성 조건이 만족되지 않는다면 속성들을 재구성하거나 함수형태를 보다 복잡한 승법형(multiplicative)으로 바꾸는 것이 고려될 수 있다(Keeny and Raiffa, 1976).

④ 4단계: 단일속성효용함수(SUF: single-attribute utility function) 도출

다속성효용함수(MUF: multi-attribute utility function)의 구성요소인 단일속성효용함수의 적합한 형태를 결정한다. 이를 위해서는 두 가지 작업이 요구된다. 먼저 효용함수의 증감 여부를 정하기 위해 단조성을 가정한 후, 해당 환경속성의 사회적인 바람직성에 따라 증감 방향을 결정한다. 예를 들어 환경속성이 시정거리라면 증가함수가 될 것이며 농업생산피해라면 감소함수가 될 것이다. 다음으로 위험태도(risk attitude) 즉 위험기피(risk-averse), 위험중립(risk-neutral), 위험선호(risk-prone)에 따라 효용함수의 완전한 형태를 구해야 한다. 통상 다음 세 종류의 지수 및 효용함수 가운데 하나를 가정하면 항상 충분히 의미있는 결과가 나오는 것으로 알려져 있다(Keeny, 1992).

$$u(x) = a - b \cdot \exp(-cx) \quad (1)$$

$$u(x) = a + b(cx) \quad (2)$$

$$u(x) = a + b \cdot \exp(cx) \quad (3)$$

여기서 a 와 b 는 $u(x) \in [0,1]$ 을 보장하는 0보다 큰 상수이며, c 는 증가함수에서는 (+)이고, 감소함수에서는 (-)인 상수이다. 또한 c 는 식(1),(3)에서 위험기피도를 나타내며, 식(2)에서는 증가함수이면 1, 감소함수이면 -1이다. 식 (1)은 위험기피적, 식(2)는 위험중립적, 식 (3)은 위험선호적 효용함수를 나타낸다.

⑤ 5단계: 속성의 중요성 평가

여러 속성의 상대적 중요성에 대한 의사결정자의 태도를 결정하는 것이다. 의사결정자는 중요도의 순서로 속성들의 순위를 정한 후 가중치를 매긴다. 가중치는 순위가 매겨진 속성의 상대적 중요도에 대한 의사결정자의 가치판단을 포착한다. 가중치를 결정하기 위해서는 여러 가지 방법이 사용되지만 스윙가중치법(swing weighting)이 가장 널리 사용되며 가장 적절한 방법이다.(Dale et al., 1996)

스윙가중치법은 의사결정자가 자신의 판단에 근거하여 가장 중요한 것에서 가장 덜 중요한 것의 순서로 속성을 나열한 다음 가장 중요한 속성에 100의 점수를 주고 속성의 상대적인 중요도에 따라 감소하는 형태로 점수를 매기는 방식이다. 점수는 합해서 특정한 숫자가 될 필요는 없지만 반드시 감소형태가 되며 동일한 중요도를 갖는 속성에는 같은 점수를 매겨도 무방하다.

⑥ 6단계: 다속성효용함수(MUF: multi-attribute utility function) 구성

지금까지 모아진 정보는 연구의 대상이 되는 종합목표에 여러 속성들이 얼마나 기여하는가를 나타내는 하나의 수학적식, 즉 MUF로 결합될 수 있으며 이는 종합목표를 평가하는 일종의 지수를 개발하는 데 사용될 수 있다.

n 개의 속성 $x = (x_1, \dots, x_n)$ 에 대한 MUF를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$U(x) = U(x_1, \dots, x_n) \quad (4)$$

여기서 x_i 는 각 속성의 수준을 의미한다. 이 함수는 첫째, $U(x') > U(x'') \Leftrightarrow x' > x''$ 이 성립하며 둘째, 불확실성 하에서는 기대효용이 큰 것이 선호되며 셋째, 이행성(transitivity)이 만족되어야 한다. MUF는 보통 다음과 같은 가법형과 승법형으로 표현될 수 있는데, 선호의 형태에 따라 하나를 선택하게 된다.

$$\text{가법형 : } U(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (5)$$

$$\text{승법형 : } U(x) = \frac{1}{k} \left[\prod_{i=1}^n k k_i u_i(x_i) - 1 \right] \quad (6)$$

$$U(x), u_i(x_i), k_i \in [0, 1], \quad 1 + k = \sum_{i=1}^n (1 + k k_i)$$

여기서 k_i 는 비례상수로 가중치를 의미하며, $u_i(x_i)$ 는 개별속성에 대한 효용함수로 SUF이다. 비례상수 k_i 를 합해서 1이 되도록 정규화(normalization)하고 각각의 SUF를 가법적으로 더하면 MUF가 구해진다.

(2) MAUA의 WTP 계산과정

MAUT를 통해 MUF를 구한 이후 CVM의 설문기법을 이용하여 응답자들의 반응으로부터 WTP를 도출해 내는 과정은 다음과 같다. 예를 들어 한 응답자에 대해 설정된 모형 내의 각 변수들이 다음과 같다고 하자.

b_i	= 속성 i의 수준($i=1, 2, \dots, n$)
b_i^l	= 속성 i의 최저 선호수준
b_i^u	= 속성 i의 최고 선호수준
$\Delta b_i \equiv b_i^l - b_i^u $	= 속성 i의 최저 선호수준과 최고 선호수준의 차이
w_i	= 속성 i에 대해 진술된 가중치 ($0 \leq w_i \leq 1$)
k_i	= 선형효용함수에서의 속성 i에 대한 비례상수
$u_i(b_i) \equiv w_i \cdot k_i \cdot b_i$	= 비례상수를 포함한 개별 속성에 대한 효용함수
$B \equiv (b_1, \dots, b_n)$	= 속성벡터
$U(B) \equiv \sum_{i=1}^n u_i(b_i)$	= n개의 속성에 대한 가법적 선형효용함수
M	= 설문 이전 상태의 응답자소득
Y_i	= 속성 i의 최저수준에서 최고수준으로의 변화를 달성하기 위한 WTP

설문을 마친 응답자로부터 우리는 다음과 같은 관측치들을 얻게 된다.

$$Y_1, \dots, Y_n, w_1, \dots, w_n, b_1^l, b_1^u, \dots, b_n^l, b_n^u \text{ 또는 } \Delta b_1, \dots, \Delta b_n \quad (7)$$

여기에서 하첨자의 의미를 살펴보면 1은 가장 중요한 속성을 나타내며, n은 가장 덜 중요한 속성을 나타낸다. 첫 번째 속성에 대한 WTP 질문은 다음의 해석을 가능하게 한다.

WTP 질문 이전(소득=M):

$$U_1(b_1^l, b_2^l, \dots, b_n^l) = \sum_{i=1}^n w_i k_i b_i^l \quad (8)$$

첫 번째 속성에 대한 지불 후(소득=M- Y_1):

$$U_2(b_1^u, b_2^l, \dots, b_n^l) = w_1 k_1 b_1^u + \sum_{i=2}^n w_i k_i b_i^l \quad (9)$$

두 번째 속성에 대한 지불 후(소득= $M - Y_1 - Y_2$):

$$\begin{aligned} U_3(b_1^u, b_2^u, b_3^l, \dots, b_n^l) = & w_1 k_1 b_1^u + w_2 k_2 b_2^u + \sum_{i=3}^n w_i k_i b_i^l \\ & \vdots \qquad\qquad\qquad \vdots \\ & \vdots \qquad\qquad\qquad \vdots \end{aligned} \tag{10}$$

똑같이 n 번째 속성에 대한 지불 후(소득= $M - Y_1 - Y_2 - \dots - Y_n$):

$$U_1(b_1^u, b_2^u, b_3^u, \dots, b_n^u) = \sum_{i=1}^n w_i k_i b_i^u \quad (11)$$

$U_1 = U_2 = \dots = U_n$ 이 합리적이기 때문에 이로부터 다음을 얻는다.

$$\begin{aligned} Y_1 &= w_1 \cdot k_1 \cdot \Delta b_1 \\ &\vdots \\ Y_n &= w_n \cdot k_n \cdot \Delta b_n \end{aligned} \quad (12)$$

이 때 중요한 것은 알고 있는 값으로부터 $k_3, \dots, k_n$ 와 $Y_3, \dots, Y_n$ 을 추론할 수 있느냐 하는 것이다. 가중치가 정의되는 방식으로부터 다음을 추론할 수 있다.

$$\begin{aligned} w_2 \cdot k_1 \cdot \Delta b_1 &= k_2 \cdot \Delta b_2 \\ \vdots & \quad \quad \quad \vdots \\ w_n \cdot k_1 \cdot \Delta b_1 &= k_n \cdot \Delta b_n \end{aligned} \quad (13)$$

이로부터 $Y_i = w_i^2 \cdot k_1 \cdot \Delta b_1$ 을 얻을 수 있다. 즉 속성에 대한 최저 선호에서 최고 선호수준으로의 변화는 속성 i의 최저 선호수준에서 최고 선호수준으로의 변화의 효용의 관점에서 평가한 중요도 w_i^2 이다. 따라서 식 (13)에 의해서 각 속성에 대한 WTP를 구할 수 있다.

(3) MAUA의 장점 및 한계점

MAUA는 기존의 가치평가법에 비해 몇 가지 장점을 가진다.

첫째, 시장가치와 비시장가치를 통합할 수 있다. 시장재화뿐만 아니라 비시장재화에 대해서도 MAUA 모형은 장점을 가진다.

둘째, 비구분문제를 감소시킨다. 비구분효과(embedding effect)가 발생하는 이유는 재화에 대한 화폐적 표현의 부재가 중요한 이유가 될 수 있고 또 사람들이 사실상 특정 문제에 반응하기보다는 도덕적 만족감을 위해 돈을 기부할 WTP를 나타낸다는 점이 이유가 되며 마지막으로 사람들이 주어진 문제에 반응을 하는 데 있어서 큰 범위와 적은 범위간에 충분히 민감하게 반응하지 못하는 점이 이유가 된다. 하지만 MAUA의 사용은 사람들이 적절하게 자신의 화폐가치를 나타내도록 도움을 줄 수 있기 때문에 이러한 비구분문제를 감소시킨다.

셋째, 변하는 조건에 대해 유연성이 있다. MAUA 모형은 각 속성에 대해 넓은 범위의 가치를 유도하므로 새로운 속성이 추가되는 경우를 제외하고서는 조건이 변하더라도 재계산에 필요한 정보를 쉽게 얻을 수 있다.

넷째, 구조화에 적절하다. 사람들은 다차원적 환경개선과 같은 복잡한 비시장재화에 대해서 화폐가치를 구성하는데 어려움을 겪기 때문에 CVM은 응답자가 가치를 형성할 수 있도록 평가하는 재화에 대한 세심한 주의가 요구된다. MAUA는 구조화와 가치평가단계에서 이러한 부분을 고려할 수 있도록 여러 가지 배경을 제시해 주기 때문에 사람들로 하여금 가치형성을 쉽게 하도록 도움을 준다.

이처럼, MAUA는 기존의 가치평가법에 비해서 여러 장점이 있음에도 불구하고 방법론적 측면에서 소수의 전문가들의 의사결정에 전적으로 의존하기 때문에 이를 통한 효용함수가 과연 사회 전체의 효용을 대변할 수 있는가에 대해 반론이 제기될 수 있다. 또한 MAUA에서 극도로 단순화된 CVM을 통해서 나온 화폐적 가치가 과연 어느 정도의 유의성을 가질 수 있는가에 대해서도 역시 반론이 제기될 수 있다. 하지만 이러한 한계점들에도 불구하고 분석의 용이성과 명료성 및 대체수단의 부재라는 측면에서 MAUA는 기존의 어떠한 방법론들보다 우수함을 보여주고 있는 점 또한 사실이다.

2) 실증연구 및 결과

(1) 속성과 효용함수

① 속성의 식별

실증연구의 첫 단계는 육상과 해상의 운송수단으로 인한 환경영향의 속성을 식별하는 것이다. 검토할 최초 속성집합을 도출하기 위해 먼저 광범위한 국내외의 과학적 문헌에 근거하여 속성들을 선정한 후, 전문가 집단을 대상으로 1차 수정을 했다. 이러한 절차는 자연스럽게 운송수단에 의한 환경피해들에 대한 다양한 속성들을 식별할 수 있는 기회를 제공해주었다. 이 과정에서 연구대상의 최종속성을 결정하기 위해 다음과 같은 몇 가지 원칙을 세웠다.

첫째, MAUT와 부합하기 위해 속성은 서로 직교(orthogonal) 또는 독립(independent)이거나 이에 근접해야 한다. 둘째, 가능하면 속성의 수는 작아야 하는데, 8개를 넘지 않는 것이 바람직하다. (Miller, 1956). 셋째, 속성은 쉬운 설명과 직설적인 사진, 도표, 삽화와 같은 시각적 도구로 묘사되어야 한다. 넷째, 속성은 과학적으로 의미가 있어야 한다. 즉 어떠한 중요한 사실로 누락되어서는 안 된다. 이때 기존 문헌들을 참고할 수 있다. 다섯째, 속성은 이를 평가하는 사람들에게 의미가 있어야 하며 사람들의 이성과 관계가 있어야 한다. 이를 위해 우리는 관심집단 사전조사(focus group pretest)를 시행하였다.

최초에 고려했던 16개의 속성들 가운데 토양피해, 폐기물피해, 자연경관피해, 생물종다양성손실, 지하수오염, 저질오염 등은 부적절성이 높아 삭제하고 최종적으로 결정된 최종속성집합은 <표 III-4>와 같다.

<표 III-4>

최종속성집합 및 범위

속성구분	내 용	최저 수준	최고 수준	단위
1.1 산림피해	여의도 면적(300ha)의 배수로 표현된 산림 피해면적(우리나라 전체 산림면적의 1%=여의도 면적의 215배)	200	0	배
1.2 농업피해	채소, 과수 등을 포함한 연간 농업생산물의 피해	20	0	%
1.3 어업피해	어선업, 양식업 등을 포함한 연간 수산업생산물의 피해	20	0	%
1.4 재료피해	금속, 대리석, 시멘트, 페인트, 의류 등을 포함한 재료의 수명 감소	20	0	%
1.5 가시거리 피해	가시거리 감소(40km=남산타워에서 인천 앞바다가 보이는 거리)	40	5	km
1.6.1 사망률	현재수준을 초과하여 추가적으로 발생하는 연간 호흡기질환(주로 폐암) 사망자수	100	0	건/ 100만명/ year
1.6.2 질병률	현재수준을 초과하여 추가적으로 발생하는 연간 호흡기질환(주로 폐질환) 환자수	10,000	0	건/ 100만명/ year
2. 수질오염	연간 사고로 인해 육상과 해상으로 유출되는 기름의 양	1,500	0	kl
3. 소음	일반도로변지역에서 측정된 낮과 밤의 소음 정도	75	55	dB(A)
4. 지구온난화	연간 발생하는 이산화탄소량	15	0	백만TC/ year

② 속성의 정의

가. 산림피해

대기오염은 나무를 손상시켜 심미적인 측면과 목재생산량 측면의 두 가지 중요한 면에서 산림에 피해를 준다. 과학기술처(1989)의 연구에 따르면 이산화황 0.025ppm에서 1년간 백송이 노출되면 생육이 지연되며, 소나무가 6개월간 노출되면 81%가 결실하지 못한다. 또한 오염농도에 따라 연두색 혹은 붉은 색의 반점이 생기거나 잎이 마르고 탈색하는 등의 피

해를 입히거나 열매를 맺지 못하게 하여 과수생산에 지장을 주기도 한다. 오존은 일부 종의 생육부진을 야기시켜 목재생산량을 줄이기도 한다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단에 의해 발생하는 여의도 면적(약 300ha)의 배수로 표시된 산림피해 면적으로 했으며 평가범위의 상한은 여의도 면적의 200배로 하였다.

나. 농업피해

대기오염이 농업생산에 미치는 영향은 1944년 미국 LA에서 아황산가스와 오존으로 인해 오염영향권 수십 km 이내에 있었던 대부분의 식물이 죽은 사건 이후에야 인식되기 시작했다. 대기오염물질은 식물의 섬유질을 손상시키고 광합성작용을 방해하여 곡물, 채소, 과일 등에 피해를 준다. 예를 들어 미국에서는 오존으로 인한 옥수수, 밀, 땅콩, 콩 등의 연간 피해액이 1조 7천억원에서 4조 5백억원에 달하고 있으며, 오존농도가 절반으로 감소하면 농작물이 6~30% 증산될 것이라는 분석이 나왔다. 국내에서는 1971년부터 1985년까지 대기오염이 농작물에 미치는 피해에 대한 농촌진흥청(1985)의 조사실험 등 여러 연구결과 그 피해가 발견되었다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단에 의해 발생하는 곡물, 채소, 과수 등을 포함한 연간 농업생산액의 피해 %로 하였으며, 그 범위는 최대 피해를 20%까지 하였다.

다. 어업피해

대기오염이 어업생산에 미치는 영향은 미미하다고 볼 수도 있지만 어선업과 양식업 모두 다소간의 영향은 받고 있다고 볼 수 있는데, 이는 대기오염으로 인한 스모그와 안개 끼는 일수의 증가가 조업일수에 영향을 미쳐 어업과 관련된 생산량을 줄이기 때문이다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단에 의해 발생하는 어선업, 양식업 등을 포함한 연간 어업생산액의 피해 %로 하였으며, 그 범위는 최대 피해를 20%까지 하였다.

라. 재료피해

대기오염물질은 물체의 표면이나 의류를 오염시켜서 재료의 수명을 감소시키고 청소비용과 세탁비용을 증가시키며 이와 관련된 노동도 증가시키는 피해를 가져온다. 예컨대 산성비는 대리석, 시멘트, 철근 등과 같은

건축자재들을 부식시켜 내구연한을 감소시키는 피해를 주고, 먼지는 세탁 물을 더럽게 만들어 세탁의 횟수를 늘이게 만드는 피해를 가져다 준다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단에 의해 감소되는 재료의 내구연한 기간의 감소 정도로 최대 20%까지 하였다.

마. 가시거리피해

가시거리란 대기 중에서 사물의 형태와 색을 감지할 수 있는 최대거리를 의미하며 안개, 강수, 습도, 풍향, 풍속, 기압 등과 같은 자연적 원인에 의해 시정거리가 감소하기도 하지만 최근 관심의 대상이 되고 있는 것은 대기오염물질에 의한 시정거리 약화현상이다. 예를 들어 서울의 시정거리는 일본 대도시의 평균 시정거리 20km의 절반 수준에 불과하고, 1년 중 시정거리가 5km 이하인 날도 96년 74일에서 2000년에는 101일로 크게 늘어났다. 시정거리가 5km 이하가 되면 서울 광화문 사거리에서 육안으로 남산 윤곽을 식별할 수 없게 된다.

속성의 평가단위는 감소되는 시정(가시)거리로 하였으며 평가범위는 국립환경연구원의 연구결과(1994)를 참고하여, 최저 5km에서 최대 40km로 하였다. 시정거리 40km는 경기도 파주군 도라전망대에서 북한의 개성시내와 송악산을 뚜렷이 볼 수 있고, 여의도 63빌딩 전망대나 남산타워에서 인천 앞바다가 훤히 보이는 정도를 말한다.

바. 사망률

많은 역학조사 결과 대기오염물질의 누적은 인간을 사망에까지 이르게 한다. 외국에서는 1880년 영국 런던에서 1,000여명, 1930년 벨기에 뮤즈계곡에서 63명, 1948년 미국 도노라에서 20여명, 1952년 영국 런던에서 4,000여명, 1966년 미국 뉴욕에서 63명 등이 대기오염사건으로 사망한 바 있다. 증가된 대기오염에 7년 정도 노출되어 있으면 사망에 이를 가능성이 훨씬 높아지며, 대기오염으로 인해 사망에 이르게 되는 질환은 주로 폐암이 많다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단에 의해 현재수준을 초과하여 추가적으로 발생되는 1년 동안의 호흡기관관련 질병(주로 폐암) 사망자수로 하였으며 평가범위는 국내외의 여러 연구를 참고하여 1년간 인구 100만명당 사망자수 100명(즉, 10,000명당 1명)까지로 설정하였다.

사. 질병률

많은 역학조사 결과 대기오염은 주로 호흡기계 질환을 통해 인간의 건강에 영향을 미친다는 사실이 입증되었다. 주로 만성기관지염, 천식, 폐기종, 진폐증 및 비인두 질환등의 호흡기 질환이 대기오염과 관련이 있다. 예들 들어, 오존의 경우 5-6월에 최고 농도를 보이며 동절기에 눈에 띄게 감소하지만 최근에는 8-9월, 12-1월 등 계절과 무관하게 오존농도가 환경기준치를 넘어서고 있다. 2001년도 환경백서에 따르면 농도가 0.12ppm 이상일 때 내려지는 오존 주의보가 서울에서 96년 11건이던 것이 지난해에는 22건으로 배로 증가했고 전국 21개 도시의 오존주의보 발령횟수 역시 98년 24회에서 지난해는 38회로 급증해 오존 오염의 심각성을 말해주고 있다. 많은 연구들은 이러한 오존주의보의 증가가 천식환자의 증가와 매우 깊은 상관관계가 있음을 보여주고 있다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단에 의해 현재수준을 초과하여 추가적으로 발생하는 1년 동안의 호흡기관 관련 질병 환자 수로 하였으며 평가범위는 국내외의 여러 연구를 근거로 하여 1년간 인구 100만명당 환자수 10,000명(즉, 100명당 1명)까지로 설정하였다.

아. 수질오염

해상의 경우 해난사고로 인한 선박유나 원유의 유출로 인한 피해는 그 피해범위가 광범위하고 장시간 피해를 미치기 때문에 다른 피해보다도 훨씬 더 심각한 결과를 초래한다. 기름제거를 위한 방제비용뿐만 아니라 기름유출로 인한 연안의 피해는 매우 다양하게 나타날 수 있다. 2001년도 환경백서에 따르면 지난 8년간 선박사고로 인해 해양으로 유출된 기름의 양은 평균 약 535 kl에 달한다. 마찬가지로 육상의 경우도 차량의 사고에 의해 기름이 유출되는 경우는 많이 발생한다. 하지만 육상의 경우는 대부분이 일차적으로 토양으로 스며들기 때문에 직접적으로 지표수에 미치는 영향은 미미한 것으로 파악된다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단에 의해 연간 유출되는 기름의 양으로 최대 1500 kl까지로 하였다.

자. 소음피해

소음은 교통과 관련된 대표적인 환경피해 사례로 인식되고 있으며 외국의 경우 가정에서의 큰 불편사항으로 소음피해를 자주 지적한다. 소음

을 계량하는 단위는 데시벨(dB(A))이며 우리는 일상생활에서 보통 최저 30 내지 40 데시벨로부터 최고 80 내지 90 데시벨의 소음에 노출되어 있다. 소음이 미치는 영향은 짜증유발, 행동변화, 청력손실과 수면장애 그리고 생리적 영향 등 아주 다양하며 서로 연관되어 있다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단(주로 육상)에 의해 발생하는 소음의 최저, 최고 데시벨로 하였으며 최저 55데시벨에서 최고 75데시벨까지 하였다.

차. 지구온난화

석탄, 석유 등의 화석연료를 연소시킬 때 대량으로 발생하는 이산화탄소는 인체에 직접적인 독성은 없으나 몇 가지 중요한 피해를 끼친다. 첫째, 태양광선은 투과되지만 적외선은 투과되지 못하므로 지구를 온난화시키는 온실효과를 가져온다. 둘째, 기온상승으로 인해 빙하가 녹아내려 바닷물의 높이가 상승하여 항구와 해안 보호를 위한 대책을 요구하게 된다. 셋째, 식량생산에 영향을 미친다. 예컨대, 미국의 경우 대기온도가 2℃ 상승하고 강수량이 10%감소하면 옥수수 수확은 20%나 감소된다고 한다. 넷째, 생태계에 치명적인 영향을 미쳐 심각한 문제를 발생한다. 많은 식물들은 특정한 기후대에 서식하고 있으며 기후의 변화에 매우 민감하여 평균 1℃의 기온상승은 식물의 분포지역을 200km이상 이동시킨다고 한다. 마찬가지로 기후변화에 따라 이동하는 동물들도 더 이상 적합한 기후대를 찾을 수 없게 되는 결과에 직면하게 된다. 다섯째, 강수량의 변화에도 영향을 미쳐 결국 기후시스템 전반에 걸쳐 변화를 가져오게 함으로써 인류생활 및 국가산업경제와 자연생태계에 심각한 부정적 영향을 미칠 것으로 예상된다.

속성의 평가단위는 육상과 해상의 운송수단에 의해 추가적으로 발생하는 이산화탄소의 연간 배출량으로 하였으며 최대 1천5백만 탄소톤(TC)¹⁸⁾으로 하였다.

③ 단일속성 효용함수

다속성 효용함수(multi-attribute utility function)를 이끌어내기 위해서는 구성요소인 단일속성 효용함수(single attribute function)를 결정해야 한다.

18) 이산화탄소에서 탄소가 차지하는 질량비를 감안하여 탄소 비중만을 계산한 것으로 1 톤 × 12/44 = 1 탄소톤(TC)이다.

단일속성 효용함수의 결정은 먼저 증가와 감소 여부를 결정해야 하는데, 효용함수의 주어진 속성수준의 범위에서 증가하거나 감소할 수 있지만 그 경향은 사회적인 바람직성에 따라 쉽게 확인될 수 있다. 예컨대, 이 연구에서 최종속성집합에 포함된 모든 속성들은 감소함수가 된다.

다음 단계는 위험태도(risk attitude) 즉 위험기피, 위험중립, 위험선호에 따라 효용함수의 완전한 형태를 구하는 것이다. 이 연구에서는 연구의 편의상 대부분의 MAUT 선행연구에서 채택하고 있는 위험중립을 가정한 선형 효용함수를 상정한다. 그 형태는 $u(x) = a + bx$ 로 x 는 속성수준이며, a 와 b 는 u 가 0에서 1사이에서 걸치도록 보장하는 상수다.

④ 다속성 효용함수

단일속성 효용함수를 결정 한 다음에는 이들을 결합하여 속성의 주어진 범위에서 속성간의 우선 순위에 대한 견해를 수학적으로 대표하는 다속성 효용함수를 개발해야 한다. 다속성 효용함수는 환경개선 또는 환경피해와 관련된 지수를 개발하는 데 사용될 수 있다. 두 개의 다른 환경영향이 지수의 관점에서 동일하게 평가된다면 이 두 영향은 동일하다고 말할 수 있다. 다속성 효용함수의 형태는 기본적으로 여러 대안들의 속성에 대한 독립성의 유무에 의존하는데 이러한 속성독립은 선호독립 (preferential independence), 효용독립(utility independence), 가법독립(additive independence) 등 세 가지가 있다(Fishburn, 1965). 세 개의 독립조건이 모두 만족될 때 가법형(additive form)이 적절하며, 만약 독립성 조건이 만족되지 않는다면 속성들을 재구성하거나 함수형태를 보다 복잡한 승법형(multiplicative form)으로 바꾸는 것이 고려될 수 있다. 이 연구에서는 평가작업에 대한 응답자의 부담을 경감시키기 위해 거의 항상 운용되는 다음과 같은 가법적 함수를 사용한다.

$$U = k_1 u_1(x_1) + k_2 u_2(x_2) + \cdots + k_n u_n(x_n)$$

여기서, U 는 다속성 효용, $u_i(x_i)$ 는 속성 i 의 특정수준 x_i 에서 평가되는 단일속성 효용함수, k_i 는 $u_i(x_i)$ 가 U 에 기여하는 정도를 나타내는 비례상수(scaling constant)로 $k_1 + k_2 + \cdots + k_n = 1$ 이 성립한다.

(2) 설문과정

총 20명의 물류와 환경분야 전문가를 대상으로 일반적인 MAUT 설문 과정을 거쳤으며 설문의 마지막 부분에 단순한 CVM 질문을 추가하는 방식을 채택했다. 응답자 20명의 분야별 분포를 보면 육상교통관련 전문가 5명, 육상물류관련 전문가 3명, 해상교통관련 전문가 5명, 해상물류관련 전문가 2명, 일반환경관련 전문가 5명이었으며 남성과 여성의 비율은 15대 5였으며 연령별로는 30대가 가장 많은 11명, 다음으로 40대와 20대가 각각 5명, 4명이었다.

(3) MAUT/CVM 적용절차

인터뷰의 설계와 시행은 3가지 기본적인 다속성 가치유도 전략을 반영한다. 첫째, 응답자에게 제공되는 정보는 그것이 어떤 내용이든지 간에 그들의 결정에 영향을 미칠 것이라는 사실을 인정하였다. 따라서 응답자에게 그들의 판단과 관계가 있는 문제에 관해 가능한 한 많은 정보를 제공하였다. 또한 응답자들에게 의문점이 있는 경우는 모든 질문을 하게 하고 고려중인 문제에 대해 의견을 밝히도록 장려하여 그들의 의문점을 해소시켜 주었다. 둘째, 우리는 일관성 확인 방편으로 서로 다른 방식으로 질문을 하여 가치판단의 질을 높이려 했다. 따라서 전체적 판단에 대한 질문을 한 후, 동일한 질문에 대한 값을 요구하는 방식으로 선호의 일관성을 체크했다. 셋째, 응답자에게 중요도의 관점에서 먼저 순위를 매긴 후, 상대적 중요도를 평가하고 마지막으로 화폐가치로 평가하도록 하는 접근방법을 채택함으로써 이전의 다속성 가치유도절차(Goicoechea, 1982)와 가치측정이론의 지침들(Krantz et al., 1971)을 따랐다. 이론과 실제에 있어서 여러 MAUT 적용절차가 존재하지만, 이 연구에서는 다음의 총 4 단계를 채택하였다.

① 1단계: 속성의 중요도 순위결정

각 응답자는 주관적 판단에 따라 10개의 속성을 가장 중요한 것에서 가장 덜 중요한 것의 순서가 되도록 순위를 정한다. 모든 속성이 가장 싫어하는 수준에 있다고 상기시킨 후, “10개의 속성 중 하나를 가장 싫어하는 수준에서 가장 좋아하는 수준으로 변화시킬 수 있다면, 귀하는 어느 속성을 가장 먼저 변화시키고 싶습니까?”라는 형태로 질문하며, 나머지 9개의 속성에 대해서도 마찬가지로 묻는다. 여기서 응답자에게 강조되는

점은 한 속성의 수준이 변할 때, 다른 속성들의 수준은 고정이라는 것이다.

② 2단계: 속성의 중요도 평가

순위결정작업은 정확하지 않은 서수적인 판단만을 요구하므로, 응답자에게 각 속성의 상대적 중요도에 관해 주의 깊게 생각하여 점수를 매기게 할 수 있다. 점수를 매기는 방법에는 여러 가지 방법이 사용되지만 스윙기법(swing weights)이 가장 널리 사용되며 가장 적절한 방법으로 보고되고 있다. 이를 위해 각 응답자는 가장 중요한 속성에 100의 점수를 주고, 속성의 상대적인 중요도에 따라 감소하는 형태로 점수를 매긴다. 점수는 합해서 특정한 숫자가 될 필요가 없지만 반드시 감소형태가 되며 동일한 중요도를 갖는 속성에는 같은 점수를 매겨도 무방함이 강조된다.

③ 3단계: 속성의 화폐가치 평가

먼저 육상과 해상의 운송수단에 의한 환경영향에 대해 화폐와 관련된 질문을 하는 이유에 대해 설명을 한 후, 응답자가 가장 선호하는 속성이 최저 선호수준에서 최고 선호수준으로 변하는 데 대한 월별 지불의사를 묻는다.

지불수단은 대부분의 응답자에게 친숙하며 운송수단이 대기오염 물질의 주요 배출원 중에 하나라는 점에 있어서 가치를 측정하고자 하는 육상과 해상의 운송수단과 설득력 있는 연관관계를 가지고 있는 월 교통비 지출을 고려하였다. 그러나 높은 수준의 친숙성과 명백한 연관관계를 가지고 있음에도 불구하고 이것은 응답자로 하여금 자신의 WTP를 일상적인 지출과 관련된 범위에 한정하도록 하는 편의(bias)를 발생시킬 수 있으므로(Mitchell and Carson, 1989), 추가적인 지불수단으로 환경세(ecological tax)에 대한 설명도 함께 제공하였다. 따라서 최종적인 지불수단은 현재수준보다 추가적으로 부담하는 교통요금이나 환경세의 신설이 된다. 또한 심리적 계정편의(mental account bias)(Willis and Garrod, 1993, Bateman and Langford, 1995)를 극복하기 위해 응답자 가구의 월평균 교통비를 묻는 질문을 WTP질문 이전에 포함하였다.

④ 4단계: 개인정보

자동차 소유유무, 환경단체 가입여부 및 연령, 소득 등 여타 사회경제

학적 변수들(socio-economic variables)에 대해 알기 위한 단계로, 이론적 타당성 검증을 위한 WTP 방정식 추정에 사용된다.

(4) 추정결과

① 속성의 중요도 순위결정

모든 응답자들은 별다른 어려움 없이 순위를 결정하였으며, <표 III-5>는 응답자들의 순위결정유형을 요약하고 있다. 전체의 절반이상인 11명의 사람들이 사망위험을 1위로 평가하여 전체 속성 가운데 가장 중요한 속성임을 나타내었다. 이는 기존의 환경피해 관련 연구결과들¹⁹⁾과도 일치하는 것이다.

<표 III-5> 속성의 중요도 순위형태

속성 \ 순위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	가중 평균	종합 순위
산림피해	1	1	1	1	3	3	4	5	0	1	6.05	6
농업피해	0	0	0	7	1	4	4	1	1	2	6.1	7
어업피해	0	0	1	1	2	1	5	7	3	0	7.05	8
재료피해	0	0	0	1	2	1	1	4	3	8	8.3	10
가시거리피해	0	2	1	0	0	4	0	1	9	3	7.5	9
사망률	11	2	0	1	3	0	0	1	2	0	3	1
질병률	2	7	5	1	2	3	0	0	0	0	3.15	2
수질오염	0	4	10	2	1	0	2	0	1	0	3.7	3
소음	3	0	2	3	3	2	3	0	1	3	5.4	5
지구온난화	3	4	0	3	3	2	1	1	0	3	4.75	4
계	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	

19) 엄영숙, “대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가”, 환경경제연구, 7(1), pp. 1-23, 1988.과 한국전력공사, 『전력산업의 사회적비용에 관한 연구』, 2000.

한편, 중요도 순위에서 1위를 부여한 속성들 가운데 사망률의 11명이어 소음피해와 지구온난화가 똑같이 3명을 차지하고 있다. 지구온난화의 경우 과거에는 사람들에게 별로 인식되지 못했던 속성이었으나 최근에 와서 기후변화의 심각성이 부각되기 시작하면서 많은 사람들에게 관심의 대상이 되고 있는 속성이며, 이 부분에 대한 관심이 높아짐을 알 수 있다.

② 속성의 중요도 평가

중요도를 평가하는 작업의 결과는 <표 III-6>와 <표 III-7>에 요약되어 있다. 대부분의 선택들이 <표 III-6>의 대각선(diagonal) 상에 위치할 것으로 예상했지만, 대각선의 위쪽 삼각형(upper triangle) 부분만 0이 나타나고, 아래쪽 삼각형(lower triangle) 부분에는 0이 나타나지 않았다. 이렇게 많은 가중치들이 비교적 높은 수치들에 집중되어 있는 것은 순위가 내려감에 따라 상대적 중요성은 천천히 하락함을 보여주는 것인데 이는 순위에도 불구하고 속성의 대부분이 중요하다고 인식했기 때문으로 판단된다. 또한 많은 응답자들은 점수의 중심점을 50에 두는 것은 아니라 50보다 높은 값에 두는 경향이 존재하는 중심설정 문제(Roe et al., 1996)로도 해석할 수 있다.

<표 III-6> 속성에 할당된 가중치 형태

단위: 명

선택	90 이상	80 ~ 89	60 ~ 79	40 ~ 59	39 이하
2 번째	12	4	3	0	1
3 번째	11	3	3	2	1
4 번째	7	5	7	0	1
5 번째	9	5	6	0	0
6 번째	7	6	2	4	1
7 번째	11	3	4	1	1
8 번째	9	5	2	4	0
9 번째	4	6	7	2	1
10 번째	3	5	7	3	2
계	73	42	41	16	8

속성별 가중치의 순위를 보면 전체에서는 사망률과 질병률이 가장 높았고 다음으로 수질과 지구온난화의 순이었으며 가장 낮은 값은 가시거리피해와 재료피해였다. 도로 운송의 경우에는 전체의 경우와 같이 사망률과 질병률의 순위는 변화가 없으나 지구온난화와 소음의 중요성이 강조되었으며, 가장 낮은 값은 어업피해였다. 반면, 해상 운송의 경우에는 수질오염피해와 어업피해가 가장 높은 가중치를 보였으며 다음으로 사망률과 질병률 순이었고 마지막은 재료피해와 농업피해가 차지했다.

- 전체 : 사망률 → 질병률 → 수질오염 → 지구온난화 → 소음 → 산림피해 → 농업피해 → 어업피해 → 가시거리피해 → 재료피해
- 육상 : 사망률 → 질병률 → 지구온난화 → 소음 → 산림피해 → 농업피해 → 수질오염 → 가시거리피해 → 재료피해 → 어업피해
- 해상 : 수질오염 → 어업피해 → 사망률 → 질병률 → 지구온난화 → 소음 → 가시거리피해 → 산림피해 → 재료피해 → 농업피해

<표 III-7> 속성별 가중치

순 위	도로 수송		연안 해운		도로와 해운	
	속성	가중치	속성	가중치	속성	가중치
1	사망률	0.22516	수질오염	0.29414	사망률	0.19692
2	질병률	0.18501	어업피해	0.17093	질병률	0.16280
3	지구온난화	0.11785	사망률	0.12531	수질오염	0.13000
4	소음	0.11115	질병률	0.10647	지구온난화	0.11382
5	산림피해	0.08988	지구온난화	0.10361	소음	0.09306
6	농업피해	0.08430	소음	0.04721	산림피해	0.07587
7	수질오염	0.06526	가시거리피해	0.04061	농업피해	0.06980
8	가시거리피해	0.06308	산림피해	0.04037	어업피해	0.06052
9	재료피해	0.04135	재료피해	0.03828	가시거리피해	0.05673
10	어업피해	0.01696	농업피해	0.03307	재료피해	0.04048

③ 속성의 화폐가치 평가

2단계까지의 과정을 통해 도출된 각 개인별 다속성효용함수를 이용하면 화폐가치평가질문에 대한 응답을 통해 속성별 화폐가치와 속성단위별 화폐가치가 도출된다. 이에 따른 전체 속성들에 대한 지불의사액을 중앙값으로 산출한 결과 월평균 20,000원이었으며, 연평균 지불의사액은 240,000원이었다. 여기에 속성별 가중치를 적용하면 속성별 화폐가치와 속성단위별 화폐가치를 구할 수 있다. 그 결과는 <표 III-8>과 같다.

개별 속성당 화폐가치의 순위는 가중치의 순서와 동일하다. 사망률이 연간 47,260원으로 가장 높았고, 재료피해가 9,716원으로 가장 낮았으며, 둘 사이의 차이는 37,544원이었다.

<표 III-8> 속성당 화폐가치

단위: 원

순 위	도로 수송		연안 해운		도로와 해운	
	속성	값	속성	값	속성	값
1	사망률	38,046	수질오염	20,892	사망률	47,260
2	질병률	31,262	어업피해	12,141	질병률	39,071
3	지구온난화	19,913	사망률	8,900	수질오염	31,201
4	소음	18,780	질병률	7,563	지구온난화	27,317
5	산림피해	15,187	지구온난화	7,359	소음	27,317
6	농업피해	14,245	소음	3,353	산림피해	18,209
7	수질오염	11,027	가시거리 피해	2,885	농업피해	16,754
8	가시거리 피해	10,659	산림피해	2,867	어업피해	14,524
9	재료피해	6,9874	재료피해	2,719	가시거리 피해	13,614
10	어업피해	2,866	농업피해	2,349	재료피해	9,716
	계	168,972	계	71,028	계	240,000

<표 III-9> 속성단위당 화폐가치

단위 : 원

순 위	도로 수송		연안 해운		도로와 해운	
	속성	값	속성	값	속성	값
1	지구온난화	1,352.2	어업피해	580.2	지구온난화	1,821.1
2	소음	956.5	지구온난화	468.9	소음	1,116.7
3	농업피해	725.5	소음	160.2	농업피해	837.7
4	사망률	387.5	재료피해	130.0	어업피해	726.2
5	재료피해	355.9	농업피해	112.3	재료피해	485.8
6	가시거리 피해	310.2	사망률	85.1	사망률	472.6
7	어업피해	146.0	가시거리 피해	78.8	가시거리 피해	389.0
8	산림피해	77.3	산림피해	13.7	산림피해	91.0
9	수질오염	7.5	수질오염	13.3	수질오염	20.8
10	질병률	3.2	질병률	0.7	질병률	3.9
	계	4,321.8	계	1,643.2	계	5,964.8

이 연구에서는 도로 수송과 연안 해상 수송에 의해 발생하는 환경피해 비용을 함께 추정한 후 그것을 도로와 연안 해운으로 나누는 방식을 취했으며, 분석 결과 도로 수송과 연안 해운이 차지하는 비중이 각각 70.4%와 29.6%로 나타났다. 이는 운송관련 환경피해의 상당부분이 육상에서 기인하고 있는 것으로 사람들이 인식하고 있음을 보여준다. 이것을 바탕으로 추정한 우리나라 육상과 해상의 운송수단에 의한 속성별 환경비용 추정은 <표 III-9>에 요약되어 있다.

이를 이용하여 전체 환경비용을 추정한 결과 도로 수송과 연안 해운에서 발생하는 환경비용은 각각 2조 4,317억원, 1조 222억원으로 육상이 해상보다 대략 2.4배정도 많았으며, 전체적으로 총 3조 4,539억원으로 2000년 우리나라 GDP 51조 7,096억원의 약 0.67%에 해당하였다.

<표 III-10> 육상과 해상의 운송수단에 의한 속성별 환경비용 추정치

단위 : 백만원

순 위	도로 수송		연안 해운		도로와 해운	
	속성	값	속성	값	속성	값
1	사망률	547,535	수질오염	300,662	사망률	680,132
2	질병률	449,898	어업피해	174,727	질병률	562,279
3	지구온난화	286,575	사망률	128,086	수질오염	449,017
4	소음	270,275	질병률	108,832	지구온난화	393,131
5	산림피해	218,558	지구온난화	105,914	소음	321,421
6	농업피해	205,000	소음	48,257	산림피해	262,058
7	수질오염	158,697	가시거리 피해	41,511	농업피해	241,118
8	가시거리 피해	153,403	산림피해	41,263	어업피해	209,016
9	재료피해	100,554	재료피해	39,134	가시거리 피해	195,930
10	어업피해	41,244	농업피해	33,805	재료피해	139,828
	계	2,431,739	계	1,022.192	계	3,453,930

④ 개인정보

이 연구에서는 전문가 20명을 대상으로 기본적인 MAUT 과정을 따랐으며 속성의 화폐가치 도출을 위하여 간소화된 MAUT/CVM 과정을 거쳤다. 하지만 샘플 수가 워낙 적은 관계로 최종속성들과 기타 사회경제학적 변수들에 대한 회귀분석은 생략하였다. 하지만 일반적인 경우에는 기본적으로 OLS 추정, 토빗 추정(tobit) 그리고 비모수 추정(LAD)을 하고 이것을 비교분석해서 가장 적절한 추정방법을 확인하는 과정이 요구된다.

제 4 장 환경비용을 고려한 바람직한 운송수단 유인 정책

1. 도로와 연안해운의 수송비 분석

1) 국가물류비용 측면에서의 분석

(1) 운송수단별 수송비 분석

건설교통부와 교통개발연구원이 추정 한 우리나라 국가물류비는 1999년 현재 78조 8,890억원으로 국내총생산(GDP)의 16.3%을 차지하고 있으며 1990년 이후 연평균 13.3%의 증가율을 보이고 있다. 한편 수송부문에서 차지하는 물류비는 55조 1,750억원으로 국가물류비의 69.9%에 이르고 있으며, 1990년 이후 연평균 15.6%의 증가율을 보이고 있어 국가물류비 증가율 13.3%를 상회하고 있다.

<표 IV-1> 우리나라 국가물류비 추이

단위 : 십억원, %

연도	수송비	재고유지 관리비	포장비	하역비	물류 정보비	일반 관리비	물류비 총합계	GDP대비 비율
1990	15,106	7,201	768	507	966	1,083	25,631	14.3
1991	18,857	9,147	865	642	1,180	1,298	31,989	14.8
1992	23,607	9,041	899	666	1,344	1,438	36,995	15.1
1993	26,836	9,430	984	775	1,561	1,615	41,201	14.8
1994	31,037	10,935	1,118	923	1,804	1,936	47,753	14.8
1995	38,095	12,907	1,470	980	2,181	2,283	57,916	15.4
1996	42,378	13,828	1,373	1,050	2,573	2,552	63,754	15.2
1997	46,546	14,502	1,344	1,028	3,141	3,029	69,590	15.4
1998	50,244	14,976	1,411	961	3,420	3,158	74,170	16.5
1999	55,175	14,300	1,721	1,055	3,340	3,298	78,889	16.3
연평균 증가율	15.6 (69.9)	7.9 (18.1)	9.4 (2.2)	8.5 (9.78)	14.8 (1.3)	13.2 (4.2)	13.3 (100.0)	-

자료 : 민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001.

주 : ()안은 1999년의 총 물류비에 대한 해당항목의 비율.

1999년의 국가물류비 가운데 수송비를 수송수단별로 보면 도로화물수송비가 전체 수송비의 66.2%인 36조 5,500억원에 이르고 있으며, 해상운송의 경우 전체 수송비의 26.8%인 14조 8,090억원을 차지하고 있다. 그러나 도로화물수송의 경우 국내만을 대상으로 하고 있는 반면 해상수송은 국내 수송과 국외 수송이 포함되어 있는데, 이 중 국내 해상수송은 전체 수송비의 1.1%에 불과한 실정이다.

<표 IV-2> 수송수단별 수송비용

단위 : 십억원, %

연도	도로 화물 수송비	철도 화물 수송비	해상화물수송비		항공화물수송비		화물 운송 대행료	수송비총계	
			국내	국내+ 국제	국내	국내+ 국제		국내	국내+ 국제
1990	9,888	371	263.5	3,992	62	751	104	10,689	15,106
1991	11,845	421	352.6	5,472	47	898	221	12,887	18,857
1992	16,148	436	435.1	5,960	63	870	193	17,275	23,607
1993	18,574	465	493.3	6,536	70	963	297	19,899	26,835
1994	22,022	539	534.3	6,940	78	1,166	370	23,543	31,037
1995	26,598	522	727.6	9,158	82	1,383	434	28,364	38,095
1996	29,437	587	777.8	10,312	90	1,544	498	31,390	42,378
1997	31,322	645	870.1	12,031	100	2,015	533	33,470	46,546
1998	30,434	605	601.2	16,159	94	2,546	501	32,235	50,245
1999	36,550	566	603.0	14,809	31	2,537	713	38,463	55,175
연평균 증가율	15.6 (66.2)	4.8 (1.0)	9.6 (1.1)	15.7 (26.8)	-7.4 (0.01)	14.5 (4.6)	23.8 (1.3)	15.3 (69.7)	15.5 (100.0)

자료 : 민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001.

주 : ()안은 1999년 수송비 총계에 대한 수송수단별 비율

또한, 1999년의 국내수송비는 수송비 총계의 69.7%를 차지하는 38조 4,630억원이며, 이 가운데 도로화물수송비가 전체의 95.0%로 대부분을 차지하고 있다. 더욱이 국내 수송비에서 도로화물수송비가 차지하는 비율은 1990년의 92.5%에서 1999년의 95.0%까지 지속적으로 증가되어온 반면 해상, 철도, 항공 등이 차지하는 비율은 지속적으로 감소추이를 보이고 있다. 특히 철도의 경우 금액기준 화물수송분담율이 1990년의 3.5%에서 1999년에는 1.5%로 감소하여 해상화물 보다 낮은 수준에 머물러 있다.

이와 같이 도로화물의 수송비율이 타 운송수단에 비해 높은 점유율을 보이며 지속적으로 증가하는 것은 신속성과 접근성 면에서 도로교통이 타 운송수단에 비해 상대적으로 우수한 점과 함께, 국가의 사회간접자본 투자가 항만이나 철도의 건설보다는 도로 건설에 치중되어 신속성과 접근성이 타 운송수단에 비해 더욱 개선되었기 때문으로 판단된다.

<표 IV-3> 운송수단별 국내수송비 점유율 추이

단위 : %

연도	도로	철도	해상	항공	기타	국내수송비
1990	92.5	3.5	2.5	0.6	0.9	100.0
1991	91.9	3.3	2.7	0.4	1.7	100.0
1992	93.5	2.5	2.5	0.4	1.1	100.0
1993	93.3	2.3	2.5	0.4	1.5	100.0
1994	93.5	2.3	2.3	0.3	1.6	100.0
1995	93.8	1.8	2.6	0.3	1.5	100.0
1996	93.8	1.9	2.5	0.3	1.5	100.0
1997	93.6	1.9	2.6	0.3	1.6	100.0
1998	94.4	1.9	1.9	0.3	1.5	100.0
1999	95.0	1.5	1.6	0.1	1.8	100.0

자료 : 민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001.에 의거
KMI 작성

주 : 기타는 화물운송대행료를 말함.

한편 연간 수송비를 연간 수송톤수로 나눈 톤당 평균수송비의 경우 1999년에는 각 운송수단 평균 톤당 6만 6,538원이었으며 1990년 이후 9년 동안 연평균 8.7%, 1990년 대비 2배 이상 상승하였다. 도로화물의 평균 수송비용 역시 1990년의 톤당 4만 5,964원에서 1999년에는 톤당 9만 1,107원으로 1.98배, 연평균으로는 7.9%의 증가율을 보이고 있다. 반면 해상화물의 경우 1990년에 톤당 4,123원이었던 수송비가 1999년에는 톤당 4,875원에 불과하여 9년 동안 톤당 752원 오르는데 그쳤으며, 연평균 증가율도 1.9%에 머물고 있는 실정이다.

<표 IV-4> 국내 운송수단별 톤당 평균수송비 추이(명목금액 기준)

단위 : 원/톤

연도	도로화물	철도화물	해상화물	항공화물	국내수송평균
1990	45,964	6,405	4,123	338,798	31,395
1991	48,322	6,877	4,632	235,000	33,098
1992	60,705	7,419	5,067	260,331	41,574
1993	64,170	7,728	5,128	256,410	43,943
1994	63,679	9,315	4,540	254,902	44,419
1995	65,132	9,083	5,635	253,870	46,919
1996	69,034	10,966	5,518	256,410	49,726
1997	62,759	11,983	5,917	258,398	47,030
1998	74,568	13,958	5,220	258,242	55,966
1999	91,107	13,450	4,875	N.A.	66,538
연평균 증가율	7.9%	8.6%	1.9%	-	8.7%

자료 : 민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001.에 의거
KMI 산정

주 : 항공화물의 경우 1999년 9월부터 항공화물기본운임이 자유화됨에 따라 1999년의
수송비 추정이 불가하였음.

위의 <표 IV-4>에서 계산한 명목수송비에 통계청에서 산출한 우리나라 GDP디플레이터²⁰⁾를 적용하여 각 연도의 평균수송비를 1990년 금액으로 환산한 결과는 <표 IV-5>와 같다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 1999년 전체운송수단의 실질수송비는 4만 960원으로 1990년에 비해 9,500원이 인상되어 연평균 3.0%씩 늘어났다. 이를 운송수단별로 나누어 살펴보면 도로와 철도화물의 경우 같은 기간 중에 평균수송비가 각각 11,000원과 2,000원씩 늘어났으나 해상화물의 경우 오히려 1,100원 줄어들었는데, 이는 해상실질수송비가 1992년 이후 지속적인 하락세를 보여왔기 때문이다.

20) GDP 디플레이터는 국민소득의 실질화를 위하여 국민소득을 추계한 다음 사후적으로 계산되는 종합적인 물가지수로서 경상가격 GDP를 불변가격 GDP로 나누어 산출된다. 국내총생산은 모든 경제활동단계에서 산출된 부가가치를 포괄하여 추계되므로 GDP디플레이터는 소비자물가, 생산자물가, 수출입물가, 임금 및 환율의 변동 등 경제 전반에 걸친 가격요인에 의해 영향을 받게 된다. 한편 우리나라에서의 GDP디플레이터는 생산측면의 국내총생산을 이용하여 산출되므로 기술구조의 변화나 생산성의 변화가 GDP디플레이터에 실질적으로 영향을 준다(통계청).

<표 IV-5> 국내 운송수단별 톤당 평균수송비 추이(1990년 실질금액 기준)

단위 : 원/톤

연도	도로화물	철도화물	해상화물	항공화물	국내수송평균
1990	45,964	6,405	4,123	338,798	31,395
1991	43,631	6,210	4,182	212,188	29,885
1992	50,887	6,219	4,248	218,228	34,850
1993	50,255	6,053	4,016	200,810	34,414
1994	46,343	6,779	3,304	185,507	32,326
1995	44,225	6,167	3,826	172,378	31,858
1996	45,115	7,167	3,606	167,567	32,496
1997	39,751	7,590	3,748	163,668	29,789
1998	44,966	8,417	3,148	155,725	33,749
1999	56,085	8,280	3,001	N.A.	40,960
연평균 증가율	2.2%	2.9%	-3.5%	-	3.0%

자료 : 1) 민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001.

2) 건설교통부, 「건설교통통계연보」, 2000.

3) 통계청, KOSIS 통계DB.

주 : 항공화물의 경우 1999년 9월부터 항공화물기본운임이 자유화됨에 따라 1999년의 수송비 추정이 불가하였음.

이와 같은 결과는 연안 해상수송이 유류, 석탄, 시멘트 등 대량화물 위주로, 도로화물수송의 경우 컨테이너 또는 소량 다품종 화물 위주로 구성되어 있어 해상수송이 규모의 경제에 따른 낮은 운임을 피할 수 없다는 측면도 있다. 그러나 1990년과 1999년의 우리나라 실질GDP가 약 2배 정도 성장했으며, 통상적으로 물동량은 실질GDP에 직접적인 영향을 받는다는 측면에서 국내 화물수송수요가 2배 증가했는데도 불구하고 실질 수송비는 오히려 감소했다는 점은 많은 시사점을 내포한다고 할 수 있다.

(2) 미국 및 일본과의 비교

우리나라의 경우 GDP에서 국가물류비가 차지하는 비율은 지속적인 증가세를 유지하는 반면, 미국과 일본 등 선진국의 경우 GDP에서 국가물류비가 차지하는 비율은 지속적으로 감소 추이를 보이고 있다. 특히 우리나라

라의 경우 1999년 현재 GDP대비 국가물류비는 16.3%에 이르고 있어 미국과 일본의 9%대에 비해 크게 높은 실정이다.

<표 IV-6> 국가별 GDP대비 국가물류비 추이

단위: %

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
한국	14.8	15.1	14.8	14.8	15.4	15.2	15.4	16.5	16.3	-
미국	10.6	10.1	9.9	10.1	10.4	10.3	10.2	10.1	9.9	10.1
일본	10.6	10.1	9.8	9.6	9.7	9.5	9.6	-	-	-

자료 : 1) 민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001.

2) Cass and ProLogis, 12th Annual State of Logistics Report, June 4, 2001

또한 수송비가 GDP에서 차지하는 비율 역시 우리나라의 경우 1991년의 6.0%에서 1999년의 8.0%까지 지속적으로 증가추이를 보이고 있는 반면, 미국과 일본은 6%대에서 점차 감소추이를 보이고 있다. 그러나 수송비가 GDP에서 차지하는 비중은 전체 물류비에 비해 미국, 일본과의 격차가 그리 크지 않는 것으로 나타났는데, 이는 국가물류비에서 재고유지관리비, 물류정보비, 일반관리비 등 수송비 이외의 항목이 이들 국가에 비해 상당히 높은 수준이라는 사실을 보여준다 하겠다.

<표 IV-7> 국가별 GDP대비 수송비 추이

단위: %

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
한국	6.0	7.0	7.2	7.3	7.5	7.5	7.4	7.3	8.0	-
미국	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9
일본	6.6	6.4	6.4	6.2	6.5	6.3	6.2	-	-	-

자료 : 1) 민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001.

2) Cass and ProLogis, 12th Annual State of Logistics Report, June 4, 2001

한편, 비교시점의 차이가 있으나 우리나라와 일본, 미국과의 톤-Km당 수송비를 비교하면 우리나라가 이들 국가에 비해 수송비용이 다소 낮은

것으로 판단된다. 특히 일본의 경우 1995년 현재 톤-Km당 평균 수송비용이 570원인 반면 우리나라는 이의 1/5에도 못 미치는 103원에 불과해 전반적인 수송비용이 크게 낮은 수준인데, 이는 일본의 물가가 우리나라에 비해 상대적으로 높은 점이 반영되었을 것으로 판단된다. 또한 미국의 경우에도 우리나라보다 상대적으로 장거리 수송에 따른 운임 하락요인이 있음에도 불구하고 운송수단 전체의 평균 톤-Km운임이 우리나라보다 32.2% 높은 수준이었다. 이러한 측면을 고려할 때 우리나라의 수송비용은 미국과 일본 등 선진국에 비해 크게 낮은 수준에서 결정되고 있음을 알 수 있다.

<표 IV-8> 국가간 톤-Km당 수송비용 비교

단위: 원

		공로수송	철도수송	해운수송	항공수송	전체수송
1995년 기준	우리나라	334	38	17	667	103
	일본	-	-	-	-	570
1997년 기준	우리나라	329	51	19	673	118
	미국	-	-	-	-	156

자료 : 1) 우리나라 : 민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001. 해양수산부, 「해양수산통계연보」, 2000.

2) 일본 : 「해운통계요람」

3) 미국 : Cass and ProLogis, 12th Annual State of Logistics Report, June 4, 2001. US DOT & US DOC, Transportation, 1997 Commodity Flow survey, 1997 Economic Census, 1999.

주 1) 공로수송은 영업용만 그리고 해운수송, 항공수송은 내항만 적용

2) 대 달러환율은 1달러=1,300원, 대 원화환율은 100엔=1000원 적용

2) 우리나라의 컨테이너 화물 운임 비교

1 TEU의 컨테이너를 서울에서 부산까지 수송하는 방법은 트럭과 같은 도로운송수단을 이용하는 방법, 인천까지 도로를 이용한 후 인천과 부산 간 선박을 이용하는 방법, 그리고 의왕ICD 까지 도로를 이용한 후 의왕에서 부산진역까지 철도를 이용하는 방법 등으로 구분될 수 있다. 또한 부산에서 서울로 1 TEU의 컨테이너를 수송하는 방법은 위에서 제시한

역순을 적용하면 된다.

여기에서는 도로수송과 연안해운의 운송수단간 운임의 비교를 위해 컨테이너 규격은 각각 20FT(1 TEU)와 40FT(2 TEU) 적 컨테이너를 기준으로 하였으며, 편의상 부산항 컨테이너 부두의 장치장에서 서울의 화주까지 편도 요금을 추정하였다. 기점인 부산항에서는 각 운송수단 공히 터미널 기본료를 적용하였으며, 연안 해송시 인천항의 하역요율은 항만하역요금표상의 일반하역요금 가운데 기본요금을 적용하였다.

각각의 운송수단에 의해 발생하는 운임을 산정하기 위해서는 운송수단별로 컨테이너가 경유하는 구성요소의 선정이 필수적이다. 도로수송의 경우 부산항에서의 기본하역료(선내 및 마아살링료)와 도로운송비를 적용하였으며, 연안 해운의 경우 기본하역료와 연안 해송료(부산에서 인천), 인천항의 기본하역료와 화주문전까지의 도로운송료를 적용하였다. 연안 해운의 운임산정 과정에서 편의상 인천항에서 화주문전까지의 도로운송료는 연안 해송료에 포함하였다.

따라서 운송수단간 운송요금의 구성요소를 보면 도로운송이 가장 단순한 반면 연안 해운은 운송경로가 다소 복잡한 모습을 보이고 있다.

<표 IV-9> 운송수단간 운송요금의 구성요소

적용요금	도로운송	연안 해송
터미널내	기본하역료 (On-Dock)	기본하역료 (On-Dock)
기본 운송시	도로운송료	연안해송료
연계지점	-	인천항 하역비
화주문전	-	도로운송료
비고	운송경로 단순	운송경로 복잡

자료 : 한국해양수산개발원 조사자료.

이러한 운송수단간의 운송요금 구성요소에 따라 도로운송과 연안 해송의 운임을 산정한 결과가 <표 IV-10>이다. 이 표에 따르면 연안 해송은 구성요소가 복잡함에도 불구하고 도로운송에 비해 20FT 컨테이너의 경우 약 17만원, 40FT 컨테이너의 경우 약 15만원 정도 운송비가 절감되는 것을 알 수 있다. 연안 해송의 운임수준을 100으로 했을 때 도로운송의 운

임수준은 20FT 컨테이너의 경우 153.8, 40FT 컨테이너의 경우 137.3을 나타내었다. 참고로 철도수송의 경우 20FT 컨테이너의 경우 102.5, 40FT 컨테이너의 경우 113.6을 나타내어 연안 해송과 유사한 운임수준을 나타내었다.

<표 IV-10> 운송수단간 운송요금의 구성요소(부산항 ⇒ 서울)

단위 : 원

도로운송			연안 해상 운송		
구성요소	20FT	40FT	구성요소	20FT	40FT
선내	34,611	49,458	선내	34,611	49,458
마샬링	9,193	13,122	마샬링	9,193	13,122
기본료	43,804	62,580	기본료	43,804	62,580
도로운송	446,000	496,000	해상요금	249,000	298,000
-	-	-	인천하역비	25,634	46,141
-	-	-	화주문전	0	0
합계(A)	489,804	558,580	합계(B)	318,438	406,721
차이(A-B)	171,366	151,859	차이(A-B)	-	-
연안대비	153.8	137.3	연안대비	100.0	100.0

자료 : 한국해양수산개발원 조사자료.

한편, 같은 방법으로 광양항에서 서울까지 운송수단간 운송요금을 산정한 결과에서도 도로운송과 연안 해송의 운임격차는 다소 감소하였으나 여전히 도로운송이 높은 운임수준을 보였다. 20FT 컨테이너의 경우 도로수송과 연안 해송의 운임 차이는 약 13만원, 40FT 컨테이너의 경우 약 11만원 정도였으며, 철도수송의 경우 연안 해송과 약 1만원 정도의 차이를 보여 이들의 운임수준은 거의 같은 정도임을 알 수 있었다.

<표 IV-11> 운송수단간 운송요금의 구성요소(광양항 ⇒ 서울)

단위 : 원

도로운송			연안 해상 운송		
구성요소	20FT	40FT	구성요소	20FT	40FT
기본료	43,804	62,580	기본료	43,804	62,580
도로운송	392,000	436,000	해상요금	240,000	280,000
-	-	-	인천하역비	25,634	46,141
-	-	-	화주문전	0	0
합계(A)	435,804	498,580	합계(B)	309,438	388,721
차이(A-B)	126,366	109,859	차이(A-B)	-	-
연안대비	140.8	128.3	연안대비	100.0	100.0

자료 : 한국해양수산개발원 조사자료.

3) 운송수단간 운임 차이의 경제적 의미

이러한 운임 차이에도 불구하고 1999년 현재 부산항에 반출입되는 컨테이너 가운데 도로수송 비율은 83.4%에 이르렀으며, 철도와 연안해운을 이용하여 수송된 비율은 각각 14.0%와 2.6%에 머물고 있어 부산항에 반출입되는 대부분의 컨테이너 화물이 도로를 이용하고 있음을 알 수 있다.

<표 IV-12> 부산항 컨테이너화물의 수송수단별 분담율(2000년)

구분	도로	철도	연안	합계
수송량(천TEU)	4,269	650	116	5,035
비 중(%)	84.8	12.9	2.3	100.0

자료 : 한국컨테이너부두공단, 「2000년도 컨테이너화물 유통추이 및 분석」, 2001.

대부분의 수출입 화주들이 이와 같이 연안 해송보다 도로수송을 선호하는 가장 중요한 이유는 운송시간이 짧다는 점과 정시성 준수 때문이다. 2000년에 한국해양수산개발원의 조계석·박용안·전형진(2000)이 수행한 「연안운송과 도로운송에 대한 고객인식실태조사」에 따르면 화주들이 연안서비스의 질을 낮게 평가하는 가장 주된 이유로 52.4%의 응답자가 ‘시간소요의 과다’라는 점을 지적하였다. 또한 운송수단을 선택하는 기준에

대한 질문에서도 40%의 응답자가 운송시간이 가장 중요하다고 응답한 바 있다.

<표 IV-13> 연안운송 서비스의 질을 낮게 평가하는 이유

구분	총비용과다	시간소요과다	화물손실과다	화물정보부재	합계
비율(%)	23.8	52.4	4.7	19.1	100.0

자료 : 조계석·박용안·전형진, 「컨테이너화물의 연안운송 제약요인 분석」, 한국해양수산개발원, 2000.12.

운송시간의 경우 도로수송은 서울에서 부산까지 직송할 경우 약 12시간이 소요되며, 의왕 IDC 등을 경유할 경우에도 약 32시간이 소요된다. 반면 연안 해운은 중간 기착지의 상하차 시간을 제외하더라도 해상운송 시간만 28시간이 소요되며, 전체로는 최소 62시간이 소요되어 도로수송에 비해 2~5배의 시간이 더 소요된다. 특히 연안 해운의 경우 인천 갑문의 일시적인 폐쇄와 태풍에 의한 출항금지 등의 변수에 의해 정시성을 확보하지 못해 선적시간에 맞추어야 하는 수출화물의 경우 운송시간이 일정한 도로를 선택하게 된다.

<표 IV-14> 수도권 화물에 대한 운송수단별 최저 소요시간

단위 : 시간

구 분	도로		연안 해운
	직송	의왕IDC 경유	
운송요청 접수/배차	1.5	1.5	1.5
트럭운송	10.0	15.0	7.0
해상운송	-	-	28.0
하역	0.5	14.0	14.0
구내이송	-	1.0	1.0
장치시간	-	-	10.0
합 계	12.0	31.5	61.5

자료 : 조계석·박용안·전형진, 「컨테이너화물의 연안운송 제약요인 분석」, 한국해양수산개발원, 2000.12.

결국 화주들은 연안 해운을 이용할 경우 최소 2일(49.5시간)의 운송시

간이 더 소요되며, 수송시간의 단축을 위해 도로 수송이 연안 해송에 비해 20FT 컨테이너를 기준으로 할 경우 17만 1,366원, 40FT 컨테이너를 기준으로 할 경우 15만 1,859원이 더 소요되더라도 기꺼이 도로 수송을 선택하는 셈이다.

<표 IV-15> 운송시간 단축에 대한 화주들의 최대 지불의사(WTP)

단위 : 원, 시간

구 분	운송요금		소요시간
	20FT	40FT	
도로수송(A)	435,804	498,580	12.0
해운수송(B)	309,438	388,721	61.5
차이(A-B)	126,136	109,859	-49.5

주 : 도로수송의 경우 직송 기준.

2. 환경비용을 고려한 도로와 연안해운의 수송비 분석

그러나 화주들의 이와 같은 선호체계는 순전히 자신의 사적 비용에 의한 의사결정이며, 이를 사회적 비용과 연결시킬 때 바람직한 선호체계는 아닌 것으로 판단된다.

우리는 III장에서 도로화물수송과 연안 해상운송에서 발생하는 환경비용을 각각 추정하였으며, 그 비용은 연간 총 3조 4,539억원이었다. 이 가운데 도로화물수송에서 발생하는 환경비용은 70.4%에 해당하는 2조 4,317억원 이었으며, 연안 해상운송에서 발생하는 환경비용은 29.6%인 연간 1조 222억원 이었다.

이를 연간 수송된 톤수로 환산하면 도로수송의 경우 톤당 6,062원의 환경비용이 발생하며, 연안 해운의 경우 톤당 8,271원인 것으로 나타나 수송 톤당으로 보면 해상운송의 환경비용이 더 높은 것으로 보인다. 그러나 수송거리의 개념을 적용하여 연간 수송 톤-Km로 환산할 경우 도로수송은 톤-Km당 264원의 환경비용이 발생되는데 비해 연안 해운의 경우 30원에 불과한 실정이다. 즉, 1톤의 화물을 1Km 운반하는데 소요되는 비용은 도로수송이 연안 해운에 비해 약 8.8배 이상 높은 것으로 나타났다.

<표 IV-16> 도로수송과 연안해운의 단위당 연간 환경비용

구 분	도로수송	연안 해운
환경비용	2조 4,317억원	1조 222억원
톤당 환경비용	6,062원	8,271원
톤-Km당 환경비용	264원	30원

<표 IV-16>을 이용하여 수도권에서 1 TEU의 화물을 부산항으로 운송하는데 있어서 기존의 도로수송을 연안 해운으로 전환할 경우 환경오염 개선의 편익을 산출해 보았다.

1 TEU의 컨테이너를 톤으로 환산하는 것은 화물별로 많은 차이를 보이고 있으나, 여기에서는 수입화물의 전국 평균인 17톤을 적용하였다. 이 경우 1 TEU의 컨테이너를 1 Km 수송하는데 소요되는 TEU-Km당 환경비용은 도로수송의 경우 4,480원, 연안 해운의 경우 516원이 발생된다.

한편 서울에서 부산까지의 거리 산정은 도로수송의 경우 고속도로를 이용한다는 가정 하에 서울-부산간 고속도로 연장인 426.3Km를 적용하였으며, 연안 해운의 경우 인천까지의 도로수송거리 23.9Km와 인천에서 부산까지의 해송거리 435해리(805.6Km)를 적용하였다.

이러한 기준 하에 서울-부산간 1 TEU 수송시 발생하는 환경비용은 도로수송의 경우 191만원, 연안해운의 경우 52만원이었으며, 따라서 서울-부산간 컨테이너 수송을 도로수송에서 연안 해운으로 전환할 경우 1 TEU당 139만원이 절감되는 것으로 나타났다.

<표 IV-17> 서울-부산간 1 TEU 화물수송의 운송수단별 환경오염비용

구 분	도로수송	연안 해운
1 TEU	17톤	17톤
TEU-Km당 환경비용	4,480원	516원
수송거리(서울-부산)	426.3Km	도로 : 23.9Km 해송 : 805.6Km
1 TEU 수송의 환경비용	1,909,945원	522,495원
환경비용 차이	1,387,450원	

3. 운송수단별 환경비용 산출의 시사점

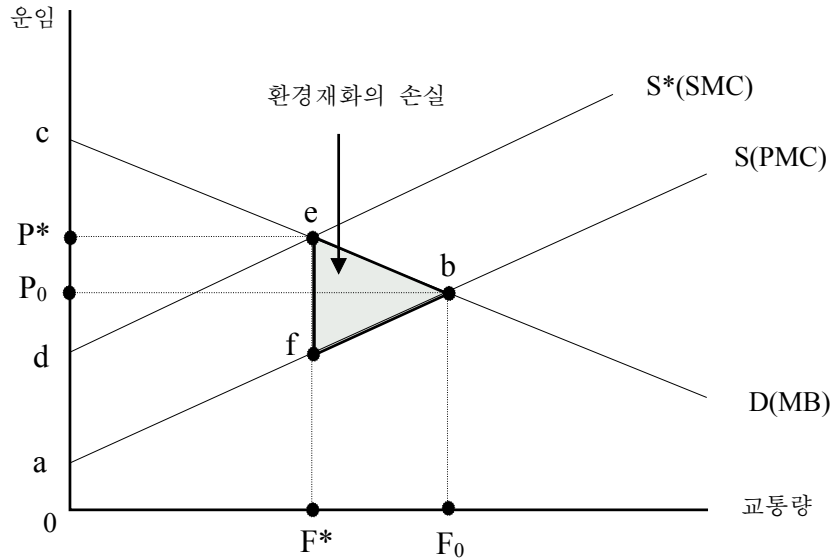
1) 국가적 측면에서 운송수단 별 화물수송 분담의 비합리성 제고

<표 IV-17>에서 제시된 바와 같이 1 TEU의 화물을 서울에서 부산으로 운송하는 경우 도로수송의 경우 191만원의 환경비용이 발생하며, 연안 해상운송의 경우 52만원의 환경비용이 발생한다. 따라서 현재의 운임수준인 도로수송 49만원, 해상 운송 32만원은 사회적 환경비용을 고려할 경우 지나치게 낮은 수준임을 알 수 있다. 더욱이 해상 운임은 고시된 가격인 반면, 도로수송의 경우 특별히 고시된 가격이 없이 업체의 난립으로 운임수준은 이보다 크게 낮은 경우가 허다하여 실제 환경비용과의 격차는 더욱 크다고 할 수 있다.

현실적으로 도로수송과 연안 해송의 경우만을 비교할 때, 화주들은 짧은 운송시간과 정시성 확보라는 사적 측면의 편익을 위해 도로수송을 선호하지만, 사회적으로 볼 때 도로수송은 해상운송보다 환경비용만으로 약 139만원의 추가적인 사회적 비용(social costs)을 유발하고 있어 이의 해소가 시급한 실정이다. 통상 사적 비용과 사회적 비용이 괴리될 경우 II장에서 언급한 바와 같이 사회적으로 바람직한 수준보다 초과공급이 발생하고 이는 환경오염이나 기타 사회적 문제를 야기하여 경제 전반에서 후생의 감소를 초래하게 된다.

<그림 IV-1>에서 도로수송 서비스를 공급하는 사업자의 사적 한계비용(PMC; Private Marginal Cost)을 S라고 할 때 여기에는 인건비나 차량의 감가상각비 등이 고려될 뿐 도로수송에서 야기되는 환경비용은 고려되지 않는다. 그러나 앞서 우리가 추정한 바와 같이 도로수송이 190만원의 환경비용을 유발할 때 도로수송의 사회적 한계비용(SMC; Social Marginal Cost)은 개인의 사적 비용보다 훨씬 높은 S*으로 상승하게 된다. 즉, 운송산업 내에서 사회적으로 바람직한 운임은 P*가 되어야 하며 이때 바람직한 산업 내 공급량은 F*가 되어야 하는데, 실제로 개별 화주들은 S에 의해 공급을 결정하기 때문에 사회적으로 바람직한 운임 P*보다 낮은 P₀에서 사회적으로 바람직한 공급량 F*보다 많은 F₀를 공급하게 된다. 따라서 사회적으로 볼 때 △bef만큼 환경이란 공유재화를 착취하게 된다.

<그림 IV-1 > 도로수송에 따른 환경 손실



환경경제학에서는 이러한 현상을 음의 외부효과(negative externality)라고 하며, 결국 운송서비스의 공급자는 정부규제가 없을 경우 보다 낮은 가격에 보다 많은 양을 공급하려 하며, 이로 인해 지나치게 높은 환경비용을 야기하게 된다²¹⁾.

한편, 연안 해운을 이용하여 수송하더라도 도로수송보다는 크게 낮지만 컨테이너(1 TEU)당 52만원의 환경비용을 발생시켜 역시 사회적 비용은 증가한다. 따라서 사회적인 최선(first best)은 두 운송수단에 적절한 정부의 직접규제 혹은 가격정책을 통해 사회적으로 바람직한 수준의 공급을 유인하는 것이지만, 이는 급격한 운임상승으로 이어져 자칫 국가 물류기능을 마비시키는 등 경제적으로 큰 부담이 될 수 있다. 즉, 환경부문만을 고려할 경우 두 운송수단 모두 환경비용을 부담시키는 것이 최선일 수 있지만 경제 전체를 고려할 경우에는 결코 최선의 정책이 될 수는 없다.

환경부문만을 고려할 경우 차선(second best)이지만 현실적인 측면에서 최선으로 제시될 수 있는 정책은 컨테이너와 같이 도로수송 화물 가운데 해상수송으로 전환이 가능한 화물을 우선적으로 전환함으로써 도로수송

21) 개인의 사적 이익을 추구하기 위해 공유재화에 대해 경쟁적으로 착취하는 현상을 Hardin(1968)은 ‘공유의 비극(The Tragedy of the Commons)’이라고 불렀다.

에서 발생하는 환경비용의 상당부분을 절감하는 것이다. 앞에서 예로 든 것처럼 서울-부산간 컨테이너 1 TEU를 도로수송에서 연안 해운으로 전환할 경우 약 139만원의 환경비용이 절감되며, 이는 1 TUE의 컨테이너를 도로수송 할 경우 발생하는 환경오염비용의 72.6%를 절감하는 셈이다.

2000년에 부산항에 반출입된 컨테이너의 경우 전체의 84.8%인 427만 TEU가 내륙지역과 부산항간에 운송수단으로 도로수송을 이용하였으며, 연안 해운을 이용한 비율은 2.3%인 12만TEU에 불과하였다는 측면에서 볼 때에도 향후 연안 해운의 수송분담을 높임으로써 환경비용을 크게 절감시킬 여지는 충분한 것으로 판단된다. 예를 들어 2000년에 수도권과 부산항간에 운송된 것으로 추정된 적 컨테이너화물 59만TEU²²⁾를 연안해운으로 전환할 경우 연간 약 8,144억원의 환경비용이 절감될 수 있다. 즉, 현재 수출입화물의 84.8%가 도로수송에 의존하고 있는 상황에서 이의 상당부분을 연안 해운으로 전환할 경우 국가적인 측면에서 운송수단의 균형있는 발전과 함께 환경비용을 크게 절감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

<표 IV-17> 부산항 반출입 컨테이너 화물의 수송수단별 분담율(2000년)

구분	도로수송	철도수송	연안	합계
수송량(천TEU)	4,269	650	116	5,035
비율(%)	84.8	12.9	2.3	100.0

자료 : 한국컨테이너부두공단, 「2000년도 컨테이너 화물 유통추이 및 분석」, 2001.

이를 위해서는 화주, 도로 및 연안 운송회사를 대상으로 하는 정부의 다양한 정책개발이 시급하다고 할 수 있다.

우선 짧은 운송시간과 정시성에 대해 높은 선호체계를 갖는 화주들을 연안 해운으로 유인하기 위해서는 경쟁체제 도입에 의한 서비스 개선과 고속 컨테이너선의 배치, 연안항의 개발을 통한 화주의 접근성 제고 등이 요구된다고 할 수 있다. 경쟁체제 도입을 통한 서비스의 개선을 위해서는

22) 현재 부산항과 내륙지역간 컨테이너 화물의 이동과 관련하여 정확한 기·종점자료는 없는 실정이다. 통상 경인권에서 유발되는 부산항 컨테이너 물량을 전국의 40% 정도로 간주하고 있으나, 우리 원에서 건설교통부의 요청에 따라 2000년에 부산항과 인근 ODCY에서 실시한 「전국교통조사(해상교통부문)」에 따르면 수도권에서 유발되는 적 컨테이너 물량의 비율은 전체 적 컨테이너 화물의 23.0%에 해당하는 것으로 조사되었다. 여기에서는 이 조사자료에 따른다.

현재 내항화물운송사업자에게 한정되어 있는 연안 해운 운송면허를 외항 화물운송사업자에게도 개방하여 해상에서의 컨테이너 화물의 수송의 경쟁체제를 도입해야 할 것으로 판단된다. 선사간의 이러한 경쟁체제는 화주의 선호를 반영하여 즉각 고속컨테이너선을 통한 운송시간 절감과 정시성 준수로 이어질 것이며, 정부는 경쟁적인 선사들이 자유롭게 영업활동을 할 수 있도록 장기적인 계획하에 무역항 및 연안항의 개발, 연안 해운 참여 선사에 대한 다양한 인센티브 제공 등이 있어야 할 것이다.

이와 함께 정부는 운송회사를 대상으로 환경오염을 극소화하기 위해 장기적으로 직·간접적인 제도적 규제정책을 수립하여야 할 것이다. 정부의 직접적인 환경오염 저감 정책으로는 오염물질 배출기준의 강화와 지속적인 관찰이 포함되어야 할 것이며, 간접적인 정책으로는 배출부과금제 도나 오염물질 배출저감에 대한 보조금 지급 등과 같은 경제적인 유인정책 등이 있을 수 있다. 이를 위해서는 해양수산부, 건설교통부, 환경부 등 정부 관련부처의 다각적인 의견 합의가 선행되어야 할 것이다.

2) 교통시설투자의 합리적 배분 필요

정부가 2001년 3월에 발표한 「제1차 중기교통시설투자계획(2000~2004)」에 따르면 지난 10년간 도로는 57% 증가한 데 비해 자동차는 무려 549%나 증가하였다. 그 결과 전체 간선도로망의 30%가 교통혼잡구간이며, 이에 따른 교통혼잡비용도 1998년 기준으로 도로투자비의 1.5배 수준인 연간 12조원에 달한다고 하였다. 이와 같은 도로부문의 사회적 비용의 절감을 위해 정부는 2000년부터 2004년까지 약 99조 8,876억원의 교통시설투자 가운데 54.7%인 54조 6,563억원을 도로 건설에 투자할 계획이다. 또한 철도시설 건설에는 28.6%인 28조 6,250억원을 투자할 계획인 반면 항만의 건설에는 9.9%인 9조 9,022을 투자할 계획이다.

<표 IV-17> 교통시설의 부문별 총 투자규모

구분	도로	철도	항공	항만	총계
금액(10억원)	54,656	28,625	4,601	9,902	99,888
비율(%)	54.7	28.6	4.6	9.9	100.0

자료 : 건설교통부, 「제1차 중기교통시설투자계획(2000~2004)」, 2001.3.

그러나 통상적으로 도로, 철도, 공항, 항만 등 대규모 사회간접자본시설의 건설은 이용하는 운송수단의 환경오염 유발 뿐 아니라 교통시설 건설에 따라 해당지역의 경관과 생태계의 대규모 파괴를 야기하게 된다. 따라서 교통시설의 부문별 투자규모를 결정할 경우 교통수단간 분담율의 조정과 개별 교통시설의 환경오염 유발비용 등을 종합적으로 고려하여 전체 환경비용을 극소화하는 방향으로 투자계획을 수립하는 것이 바람직할 것이다.

이 연구에서는 앞서 제시한 바와 같이 도로부문의 환경오염비용은 해운에 비해 톤-Km당 8.8배 이상 높은 실정이며, 서울-부산간 컨테이너 화물을 도로에서 해운으로 전환한 경우 환경비용이 크게 절감된다는 점을 강조한 바 있다. 따라서 도로의 건설을 통하여 막대한 체증비용을 유발하는 육상 수송수요를 흡수하는 것보다 항만의 건설을 통하여 육상 수송수요를 해상으로 전환하는 것이 국가적으로 도로의 교통체증비용과 환경오염비용을 낮추는 환경친화적이며, 사회적 비용을 극소화하는 정책이라고 생각된다.

2) 추가적인 사회적 비용의 검토 필요

이 연구에서는 다양한 사회적 비용 가운데 도로수송과 연안 해운에서 야기되는 환경비용만을 검토하였다. 하지만, 교통의 사회적 비용에는 이외에도 교통혼잡비용, 연료비용, 도로파손비용, 교통사고비용 등이 있으며, 이들이 모두 고려될 경우 도로수송과 해상운송의 사회적 비용은 크게 달라질 것이다. 따라서 향후에는 철도수송을 포함하여 운송수단별로 총 사회적 비용을 추정하고 이를 통하여 경제주체의 행위를 유인하는 합리적인 국가 교통정책의 수립이 필요하다고 판단된다.

제5장 결 론

이 연구는 다양한 속성에 걸쳐 환경적 피해를 유발하는 화물의 도로 수송과 연안 해송에 대해 국내 처음으로 다속성효용기법(MAUA)을 이용하여 속성별로 환경오염비용을 추정하고 이를 운송수단별로 비교함으로써 국가적인 차원에서 운송수단의 전환이 환경비용에 미치는 영향을 분석하고 정책적 대안을 제시하는 것이었다.

이를 위해 2장에서는 우리나라 전체 오염발생량 가운데 도로 수송과 해운 등 운송수단이 야기하는 부문에 대해 논의하였으며, 3장에서는 2장의 논의를 바탕으로 다속성효용기법을 이용하여 운송수단별 환경비용을 추정하였다. 이 연구에서는 환경비용 추정에 필요한 자료 수집을 위해 각각의 운송수단별로 환경과 물류분야의 전문가 25명을 대상으로 2차에 걸쳐 속성결정 및 효용함수 결정을 위한 조사를 수행하였으며, 최종적으로 전문가 20명에 대해 도로화물수송과 연안 해운에 대해 적합한 속성을 결정하고 적절한 가중치를 추출할 수 있었다. 그리고 이를 조건부가치추정 기법(CVM)과 결합하여 운송수단별로 다양한 속성에 대해 각각의 지불의사(WTP)를 분해할 수 있었다.

이러한 방법론에 의해 이 연구에서 추정한 도로화물수송의 환경오염비용은 연간 2조 4,317억원이었으며, 선박에 의한 연안 해운의 환경오염비용도 연간 1조 222억원에 이르러 총 3조 4,539억원의 환경오염비용이 발생함을 알 수 있었다. 또한, 이를 이용하여 도로수송의 해상 전환에 따른 환경비용 절감액을 산출하기 위 추정치를 해상 수송으로의 전환이 용이한 컨테이너 수송의 환경비용으로 환산한 결과 TEU-Km당 도로 수송은 4,480원, 해상 수송에는 516원이 발생함을 알 수 있었다. 따라서 서울과 부산간 1 TEU 컨테이너 수송을 도로 수송에서 연안 해운으로 전환할 경우 약 139만원의 환경비용이 절감되는 것으로 나타났다.

이와 같은 추정결과를 바탕으로 이 연구에서는 2000년 현재 부산항 반출입 컨테이너의 84.8%가 도로를 이용하는 현재의 상황은 국가적인 측면에서 환경비용의 지속적인 증가뿐 아니라 국토의 비합리적인 이용을 야

기함을 지적하였다. 또한 정부의 「중기교통시설투자계획」에서도 늘어나는 도로교통수요를 도로 건설로 해결할 것이 아니라 교통수단간 다양한 부담을 조정으로 흡수해야 할 것이며, 이를 위해 교통시설의 배분에 있어서도 교통수단간 여건을 종합적으로 고려한 합리적 배분이 필요하다고 주장하였다. 이를 통해 국가 교통시설투자비용의 절감 뿐 아니라 장기적으로 환경비용이 국민에게 경제적 부담으로 되돌아오는 부메랑효과를 극복할 수 있음을 강조하였다.

그러나 이 연구는 각각의 운송수단의 운영을 중심으로 환경비용을 추정하였으며, 해당 운송시설의 건설에서 야기되는 생태계 및 산림파괴, 습지 손실 등의 환경비용은 추정하지 못하였다. 그 주된 이유는 연구 초기의 의도와는 달리 국내외적으로 도로와 항만 건설시 훼손되는 환경피해에 대해 정확한 자연과학적 자료를 구할 수 없었기 때문이다. 즉 교통시설의 건설에 따른 환경훼손비용을 산출하기 위해서는 도로 1m² 건설시 평지, 산악지형, 교량 건설 등에서의 환경훼손에 대한 자연과학적 연구결과와 항만 1m² 건설시 훼손되는 해양생태계의 피해, 수자원 상실 등에 대한 자연과학적 훼손 원단위가 필요한데, 이러한 자료의 구입이 용이하지 않았기 때문이다. 따라서 향후 이러한 자료의 구입으로 각각의 운송시설 건설에 따른 환경오염비용이 포함될 경우 도로 수송에 의한 환경비용은 현재의 추정치 보다 크게 증가할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

〈국내문헌〉

건설교통부, 「건설교통통계연보 2000」,

과학기술처, 「환경오염생물지표법의 개발연구-대기오염에 대한 생물지표 방법」, 1989.

국립환경연구원, 「대기오염과 식물-해설과 도감」, 1989.

국립환경연구원, 「수도권지역의 시정장애현상 규명을 위한 조사연구(I)」, 1994.

권오상, 「환경경제학」, 박영사, 1999.

김용익, 「대기오염이 국민건강에 미치는 영향」, 서울대학교, 1991.

농촌진흥청, 「농작물 환경오염피해분석」, 1985.

민승기, 「1999 국가물류비 산정 및 추이분석」, 교통개발연구원, 2001.

엄영숙, 「대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 가치평가: 회피행위접근법을 사용하여」, 「환경정책연구」, 1998.

원자력연구소, 「원자력발전에 의한 대기개선편익의 경제적 가치추정」, 2000.

이기호, 「조건부가치추정법을 이용한 4대강의 수질개선 가치추정」, 고려대학교 박사학위 논문, 1997.

이성원 · 이명미, 「교통관련 사회적 비용의 계량화(1단계)」, 교통개발연구원, 2000.

이정진, 「환경경제학」, 박영사, 2000.

임영식 · 전영섭 · 나성린, 「적정대기환경기준 설정을 위한 환경개선의 편익 추정」, 「산업과 경영」, 1993.

조계석 · 박용안 · 전형진, 「컨테이너화물의 연안운송 제약요인 분석」, 한국해양수산개발원, 2000.12.

조준모, 「대기오염의 사회적 비용」, 「21세기 대기정책 수립을 위한 대 토론회 요약집」, 한국대기보전학회, 1996.

통계청, KOSIS 통계DB.

- 한국해양수산개발원, 「전국교통DB 구축(해상교통)」, 2001.
 홍갑선, 「교통관련 사회환경비용의 내재화방안」, 교통개발연구원, 1999.
 환경부, 「환경백서 2000」, 2001.
 환경부, 「환경통계연감 2000」, 2001.

〈외국문헌〉

- Bateman, I. J. and I. H. Langford, "Design Effects in Contingent Valuation Studies: Mental Account and Temporal Ordering Effects", CSERGE Working Paper GEC 95-02, 1995.
- Bluewater Network, *A STACKED DECK: AIR POLLUTION FROM LARGE SHIPS*, JULY 17, 2000.
- Cass and ProLogis, *12th Annual State of Logistics Report*, June 4, 2001
- Dale V., C. Russel, M. Hadely, M. Kane and R. Gregory, "Applying Multi-Attribute Utility Techniques to Environmental Valuation : A Forest Ecosystem Study," Paper Presented at the Southern Economic Association Meetings, Washington, D. C., November 1996.
- DETR, *Guidance on the New Approach to Appraisal*, 1997.
- ECMT, *Toward Fair and Efficient Pricing in Transport*, 1996.
- Ellis, Gregory M., and Antony C. Fisher, "Valuing the Environment as Input", *Journal of Environmental Management*, vol. 25, 1987.
- Emile Quient, "The Social Costs of Transport: Evaluation and Links with International Policies", *Internalising the Social Costs of Transport*, ECMT, 1994.
- Fishburn, P. C., "Independence in Utility Theory with Whole Products Sets", *Operation Research*, Vol. 13, pp. 28-43, 1965.
- Fergusson, M. & Skinner, I., *Greening Transportation*, Heldref Publication, 1999.
- Freeman, A. M., *The Measurement of Environmental and Resource Values, Resources for the Future*, Washington, D.C., 1994.
- Gregory, R., S. Lichtenstein and P. Slovic, "Valuing Environmental Resources : A Constructive Approach", *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 7, pp. 177-197, 1993.

- Goicoechea, A., D. R. Hansen and L. Duckstein, *Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications*, New York, John Wiley & Sons, 1982.
- Hanemann, W. Michael, "Contingent Valuation and Economics", Working Paper No.697, Uni. of California at Berkeley, 1994.
- Hanemann, W. M. and B. J. Kanninen, The Statistical Analysis of Discrete-Response CV Data, Working Paper, Department of Agricultural and Resource Economics, Uni. of California at Berkeley, June 1996.
- Hotelling, Harold, "The General Welfare in Relation to Problems of Taxation and of Railway and Utility Rates," *Econometrica*, 6, 1938.
- James Corbett and Paul Fishbeck, *Science*, October 31, 1997.
- Keeney, R. and H. Raiffa, *Decisions with Multiple Objectives*, John Wiley & Sons, New York, 1976.
- Keeney, R. L., *Value-Focused Thinking : A Path to Creative Decisionmaking*, Harvard Univ. Press, 1992.
- Krantz, D. H., R. D. Luce, P. Suppes and T. Eppel, *Foundations of Measurement, (Vol I)*, Academic Press, 1971.
- Lave, L. B., and E. P. Seskin, *Air Pollution and Human Health*. Baltimore, Md. : The Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, 1977.
- Mark Delucchi, "Environmental Externalities of Motor-Vehicle Use in the U.S.", *Journal of Transport Economics and Policy*, 2000.
- McConnell, Kenneth E, "The Damages to Recreational Activities from PCBs in New Bedford Harbor." Report prepared by Industrial Economics, Inc., Cambridge, Mass., for the Ocean Assessment Division, National Ocean and Atmospheric Administration, 1986.
- Miller G. A., "The Magic Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information", *Psychological Review*, Vol 63, pp. 81-97, 1956.
- Mitchell R. C. and R. T. Carson, *Using Surveys to Public Goods : The Contingent Valuation Method*, Washington, D. C., Resources for the Future, 1989.
- OECD, *Motor Vehicle Pollution*, 1995.
- OECD/ECMT, *Internalising the Social Costs of Transport*, 1994.

- Per Kageson, "Effects of Internalisation on Transport Demand and Modal Split", *Internalising the Social Costs of Transport*, ECMT, 1994.
- Roe, B., K. J. Boyle and M. F. Teosel, "Using Conjoint Analysis to Derive Estimates of Compensating Variation", *Journal of Environmental Economic and Management*, Vol. 31, 1996.
- Samuelson, P.A., "A Note on the Pure Theory of Consumer's Behavior," *Economica*, 1968.
- Transportation Research Board, *Toward a Sustainable Future: Addressing the Long-Term Effects of Motor Vehicle Transportation on Climate and Ecology*, 1997.
- William H. Desvousges, F. Reed Johnson, H. Spencer Banzhaf, "Assessing Environmental Costs for Electricity Generation", TER Working Paper, Dec. 1994.
- Willis, K. G. and G. D. Garrod, "Valuing Landscape : A Contingent Valuation Approach", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 37, pp. 1-22, 1993.

부록 1 : 속성의 가중치 도출을 위한 설문

안녕하십니까?

본 설문은 육상 및 해상 화물운송에 의해 야기되는 환경훼손비용을 추정하기 위해 환경훼손이 나타나는 속성들의 가중치를 계산하기 위한 것입니다. 본 설문은 비교적 간단하니 끝까지 성의 있게 작성하시어 귀하의 고견이 누락되는 일이 없도록 잘 부탁드립니다. 참고로 말씀드리고 싶은 것은 귀하께서 속한 기관이나 단체의 관점에서가 아니라 물류·환경 분야 전문가로서의 **개인적인 관점에서 평가해주시기를 부탁드립니다.** 절대로 정답이나 오답이 있는 것이 아님을 강조 드립니다. 본 설문내용은 비밀이 보장되며, 순수히 학문적 용도로만 사용할 것을 약속드립니다.

한국해양수산개발원 해사정책실 실장 신 승 식

※ 문의사항이 있으시면 아래의 연락처로 연락주시면 감사하겠습니다.

(전화) (02) 2105-2742 (신승식, shin2han@kmi.re.kr)

(02) 2105-2744 (이호춘, leechoon@kmi.re.kr)

(팩스) (02) 2105-2759 (해사정책실)

(주소) [우 138-730] 서울특별시 송파구 신천동 11-6 수협중앙회 빌딩 8층
한국해양수산개발원 해사정책실

설문의 취지

현재 정부가 추진하고 있는 국가물류기본계획의 5대 목표는 물류강국을 지향하는 물류 간선네트워크의 구축, 물류부문의 하드웨어와 소프트웨어의 유기적 조화를 위한 물류기술의 고도화, 물류산업의 체질개선을 통한 국제경쟁력 강화, 안전과 환경을 고려한 환경친화형 물류환경의 조성, 세계를 지향하는 국제 물류네트워크의 구축입니다. 정부는 장기적으로 이러한 5대 목표들의 달성을 통하여 국가물류비를 낮추고 국가경쟁력을 높일 생각입니다. 이는 1998년 시점으로 우리나라의 국가물류비가 국내총생산의 16.3%를 차지하고 있는 점을 고려해 볼 때 매우 중요한 정책이라고 볼 수 있습니다.

하지만 기존의 국가물류비에 대한 연구들을 보면 수송비와 재고비를 포함한 직접경비의 성격을 가지는 비용들에 대한 연구는 많이 있었으나 물류활동에서 외부적으로 발생하는 환경비용, 체증비용, 사고비용 등 사회적 비용들에 대한 연구는 미진하였습니다. 특히 육상 및 해상 화물운송에 의한 환경오염은 전 국토를 대상으로 광범위하게 나타나고 있음에도 불구하고 이에 대한 적절한 환경적 평가와 화폐적 반영이 이루어지지 않았던 것이 사실입니다.

본 연구에서는 위와 같은 문제의식 하에서 다속성효용이론(Multi-Attribute Utility Theory : MAUT)을 응용하여 육상 및 해상 화물운송에 의해서 야기되는 환경훼손비용을 추정하고자 합니다. 본 설문에 앞서 시행된 1차 설문에서 우리는 육상 및 해상 화물운송에 의해 야기되는 환경훼손비용과 관련된 속성들과 평가단위를 결정하였고 본 설문을 통하여서는 결정된 각각의 속성들에 대한 가중치를 도출하고자 합니다. 따라서 이하의 설문에서는 이러한 평가항목간의 상대적 중요성에 대한 선생님의 의견을 묻고, 이를 이용하여 일종의 평가를 위한 지수화의 과정을 거치고자 합니다.

이번 설문에 포함된 물음에는 어떠한 근본적인 정답도 존재하지 않으며, 단지 물류/환경 분야 전문가로서 선생님의 견해를 듣고자 하는 것임을 숙지해 주십시오.

속성에 대한 설명

저희가 설명하고 있는 “속성”의 이해를 돕기 위해 한가지 예를 들겠습니다. 귀하께서 맥주를 사는 것에 대해 생각해 보십시오. 사람들은 맥주를 살 때 맛, 향, 온도, 지명도, 가격 등의 여러 가지 요소들을 고려할 것입니다. 또한 사람들은 개인의 관점에 따라 각 요소들의 중요도와 중요도의 순위가 다를 것입니다. 이 요소들을 저희는 “속성”이라고 합니다. 예를 들어 A, B, C 세 개의 맥주 제품이 있을 때, 객관적으로 C보다 A와 B의 맛이 비슷하게 좋으며, A가 B보다 지명도는 낮지만 향은 더 좋다고 합니다. 맛, 향, 지명도의 순서로 맥주속성의 중요도를 평가하는 사람이 있다면 그 사람은 가장 중요한 속성인 맛에 의해 A와 B를 C보다 더 좋아할 것이며, 두 번째로 중요한 속성인 지명도에 의해 최종적으로 B를 구매할 것입니다.

본 설문은 목적인 육상 및 해상 화물운송에 의해 야기되는 환경훼손비용을 추정하기 위해 위에서 제시된 아이디어를 이용하여 맥주의 속성인 맛, 향, 온도, 지명도, 가격에 대응될 수 있는 환경속성(평가항목)들에 적용하고자 하는 것입니다.

본 설문에 앞서 실시한 속성결정에 관한 1차 조사결과에 기초하여 결정된 최종속성집합은 [표 1]과 같으며, 각 속성의 평가단위, 속성수준의 범위는 [표 2]와 같습니다.

[표 1] 최종속성집합

최종 속성집합
1. 대기오염(Air Pollution) 1.1 산림피해(Forest Damage) 1.2 농업피해(Agricultural Damage) 1.3 어업피해(Fishery Damage) 1.4 재료피해(Material Damage) 1.5 가시거리피해(Visibility Loss Damage) 1.6 건강피해(Health Damage) 1.6.1 사망률(Mortality) 1.6.2 질병률(Morbidity)
2. 수질오염(Water Pollution)
3. 소음(Noise)
4. 지구온난화(Global Warming)

[표 2] 속성, 속성평가단위, 속성수준의 범위

속 성		최저 수준	최고 수준	단위
1.1 산림피해	여의도 면적(300ha)의 배수로 표현된 산림 피해면적(우리나라 전체 산림면적의 1%=여의도 면적의 215배)	200	0	배
1.2 농업피해	채소, 과수 등을 포함한 연간 농업생산물의 피해	20	0	%
1.3 어업피해	어선업, 양식업 등을 포함한 연간 수산업생산물의 피해	20	0	%
1.4 재료피해	금속, 대리석, 시멘트, 페인트, 의류 등을 포함한 재료의 수명 감소	20	0	%
1.5 가시거리피해	가시거리 감소(40km=남산타워에서 인천 앞바다가 보이는 거리)	40	5	km
1.6.1 사망률	현재수준을 초과하여 추가적으로 발생하는 연간 호흡기질환(주로 폐암) 사망자수	100	0	건/ 100만명/ year
1.6.2 질병률	현재수준을 초과하여 추가적으로 발생하는 연간 호흡기질환(주로 폐질환) 환자수	10,000	0	건/ 100만명/ year
2. 수질오염	연간 사고로 인해 육상과 해상으로 유출되는 기름의 양	1,500	0	kl
3. 소음	일반도로변지역에서 측정한 낮과 밤의 소음정도	75	55	dB(A)
4. 지구온난화	연간 발생하는 이산화탄소량	15	0	백만TC/ year

설문 작성 안내

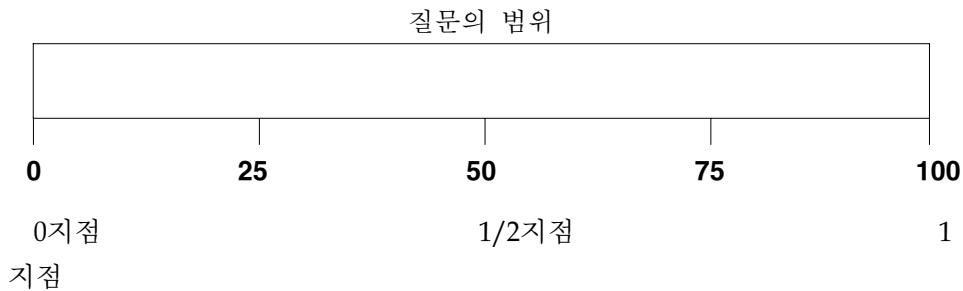
저희는 앞 페이지에서 귀하에게 제시된 각 속성의 범위에 대해 다음과 같은 질문을 합니다. 질문의 편의상 각 속성범위의 '0지점', '1지점'을 주로 사용할 것입니다.

'0지점'이란 속성 영역의 낮은 쪽 끝값을 의미합니다.

'1/2지점'이란 속성 영역의 중간값을 의미합니다.

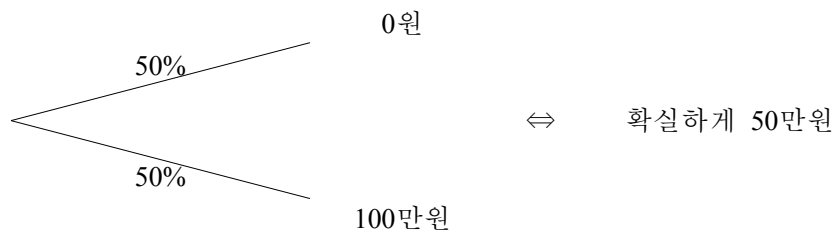
'1지점'이란 속성 영역의 높은 쪽 끝값을 의미합니다.

예컨대 속성의 전 범위가 0~100으로 주어진다면, 각 질문의 범위는 다음 그림과 같이 표시될 수 있습니다.



질문은 속성 영역의 0지점과 1지점에 대해 50%-50%의 확률로(즉, 반-반으로) 기대되는 상태와 이 두 값의 중간값인 1/2지점이 확실하게 발생하는 상태를 비교하는 것입니다.

한가지 강조드리고 싶은 점은 각 질문 내에서의 두 상태의 기대상태(expected state)는 같다는 것입니다. 예를 들어 설명하겠습니다.



$$\frac{1}{2}(=50\%) \times 0\text{원} + \frac{1}{2}(=50\%) \times 100\text{만원} = 50\text{만원}$$

$$\Leftrightarrow 1(=100\% = \text{확실}) \times 50\text{만원} = 50\text{만원}$$

즉 왼쪽의 기대상태는 0원일 확률 $\frac{1}{2}$ 에다 0원을 곱하고 100만원일 확률 $\frac{1}{2}$ 에다 100만원을 곱하여 합한 것이 되며, 오른쪽의 기대상태는 확실한 상태이므로 50만원일 확률 1에다 50만원을 곱한 것입니다. 따라서 왼쪽의 기대상태와 오른쪽의 기대상태는 모두 50만원으로 서로 같게 됩니다. 이렇게 모든 질문은 기대상태가 같도록 설계되었습니다.

질문의 유형은 다음과 같습니다.

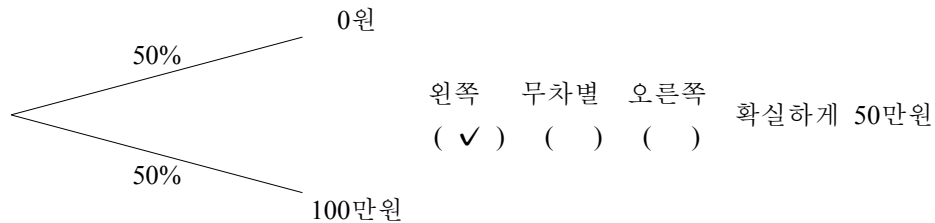
고려중인 어느 속성의 범위가 0원에서 100만원까지라면, 50%의 확률로 0원이며, 50%의 확률로 100만원인 상태와 확실하게 50만원인 상태 중 어느 상태를 더 좋아하십니까 해당 사항에 ☐표를 해 주십시오.

대답하시는 요령은 귀하께서 오른쪽의 상태를 더 좋아하시면 '오른쪽'에 ☐표를 하시면 되고, 왼쪽의 상태를 더 좋아하시면 '왼쪽'에 ☐표를 하시면 됩니다. 또한 두 상태간의 차이가 없으면 '무차별'에 ☐표를 하시면 됩니다.

이해가 어려우시면 한번 다음의 홍길동씨의 상황을 생각해 보십시오. ○ ○백화점에서 개점 10주년 사은행사의 일환으로 1000번째 내점고객에게 선물을 증정한다고 합니다. 홍길동씨는 가족에게 줄 선물을 구매하러 잠시 백화점에 들렀는데 우연히 1000번째 입장객이 되어 백화점으로부터 선물을 받게 되었습니다. 그 선물의 내용은 제비뽑기와 현금의 두 가지 중 하나를 선택하는 것입니다. 제비뽑기는 당첨제비와 낙첨제비의 두 장의 제비중 당첨제비를 뽑으면 100만원을 받고 낙첨제비를 뽑으면 한푼도 받지 못하는 것이며, 현금은 50만원을 받는 것입니다. 앞에서의 예와 같이 이 경우에 제비뽑기와 현금의 각 기대금액(상태)은 50만원으로 같습니다.

만약 홍길동씨가 모험을 좋아하는 사람이라면 제비뽑기를 더 좋아할 것이고 모험을 싫어하는 사람이라면 현금 50만원을 더 좋아할 것입니다. 또한 제비뽑기와 현금 사이에 별 차이가 없으면 무차별하다고 할 것입니다. 이

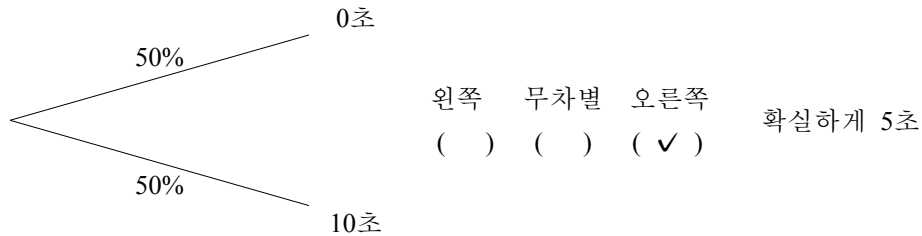
때 홍길동씨가 모험을 좋아하여 제비뽑기를 선택했다고 하겠으며, 그때의 응답결과는 다음 그림과 같습니다.



이제 상황은 바뀌어 전화서비스의 예를 들겠습니다. ○○전화회사가 시외통화를 걸 때 전화번호를 누른 후 신호가 갈 때까지의 시간에 대해 홍길동 씨에게 두 가지 상황 중 하나를 선택하라고 했습니다. 첫 번째는 50%의 확률로 대기시간이 0초이고 50%의 확률로 대기시간이 10초인 상황입니다. 즉, 하루에 10번 정도 시외전화를 이용하면 대략 5번 정도는 곧바로 걸리며, 5번 정도는 10초쯤 기다려야 합니다. 두 번째는 항상 확실하게 대기시간이 5초인 상황입니다.

물론 두 상황에 따라 전화요금의 차이는 없으며, 이 경우에 두 상황의 기대상태는 5초로 동일합니다. 즉 왼쪽의 기대상태는 0초일 확률 $\frac{1}{2}$ 에다 0초를 곱하고 10초일 확률 $\frac{1}{2}$ 에다 10초를 곱하여 합한 것($5초 = \frac{1}{2} \times 0초 + \frac{1}{2} \times 10초$)이 되며, 오른쪽의 기대상태는 확실한 상태이므로 5초일 확률 1에다 5초를 곱한 것($5초 = 1 \times 5초$)입니다. 따라서 왼쪽의 기대상태와 오른쪽의 기대상태는 모두 5초로 서로 같게 됩니다.

만약 홍길동 씨가 비록 시외전화를 이용하는 횟수의 절반정도는 10초나 기다려야 하지만, 나머지 절반은 기다리지 않아도 되므로, 항상 5초씩 기다리는 두 번째 상황보다는 첫 번째 상황을 좋아한다면 왼쪽을 더 좋아할 것입니다. 오히려 5초 정도는 기다릴 수 있지만, 10초는 기다리기에 너무 길어 받아들일 수 없다고 생각하면 오른쪽을 더 좋아할 것입니다. 물론 두 상황사이에 차이가 없다면 무차별하다고 응답할 것입니다. 이때 홍길동 씨는 두 번째 상황인 오른쪽을 선택했다고 하겠으며, 그때의 응답결과는 다음 그림과 같습니다.



즉, 홍길동 씨는 화폐에 대해서는 모험을 좋아하는 태도를 보였고, 시외 전화 착신음 대기시간에는 모험을 싫어하는 태도를 보여, 화폐와 시외전화 착신음 대기시간에 서로 다른 모험에 대한 태도를 가지고 있습니다. 물론 둘 다 모험을 좋아하는 태도를 보이거나 둘 다 모험을 싫어하는 태도를 보일 수도 있으며, 무차별한 태도를 보일 수도 있습니다. 이렇게 경우에 따라 모험에 대한 태도가 다르거나 같은 것은 자연스럽고 합리적인 것입니다.

저희는 이제 화폐와 대기시간에 해당하는 환경영향속성에 대해서 비슷한 질문을 합니다. 홍길동씨의 예와 같이 질문은 각 속성에 대해서 따로 이루어지므로 어느 한 속성에 대해서는 모험을 좋아하는 태도를 가진다고 해서 다른 속성에 대해서 모험을 좋아하는 태도를 반드시 가져야 할 필요는 전혀 없습니다. **각 속성에 따라 어떤 태도를 보이셔도 무방합니다.**

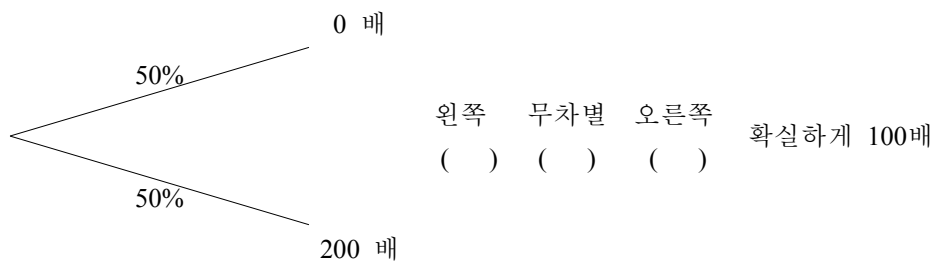
이제 앞에서의 설명과 예가 이해가 되십니까? 이해가 되시면, 다음 페이지의 질문들에 대답해 주십시오. 이해가 안 되시면 설문지 맨 앞의 연락처로 연락하시어 추가적인 설명을 요구하시거나 질문을 해 주시면 감사하겠습니다.

설문

(질문 1) 이번에는 앞서 말씀드린바와 같이 귀하가 가지고 있는 속성들의 효용함수적 형태를 알고자 하는 질문입니다. 아래 지문의 의미에 대해 다시 한 번 확인하고자 하신다면 6페이지 부분을 보아주시길 바랍니다.

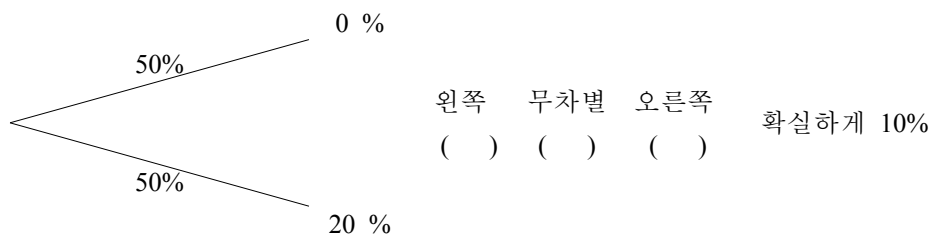
(1-1.1) '산림피해' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 발생하는 산림피해면적으로 가장 좋은 수준은 여의도 면적의 0 배이며, 가장 나쁜 수준은 여의도 면적(300 ha)의 200 배로 합니다.(1999년도 임업생산액 = 약 1조 2천억원(경상가격), 1999년도 임야면적 = 642만 2천ha)



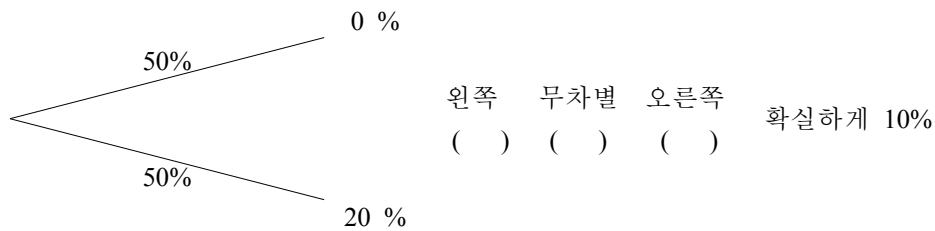
(1-1.2) '농업피해' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 발생하는 농업생산액 피해로 가장 좋은 수준은 0 %이며, 가장 나쁜 수준은 20 %로 합니다.(1999년도 농업생산액 = 약 17조 9천억원(경상가격))



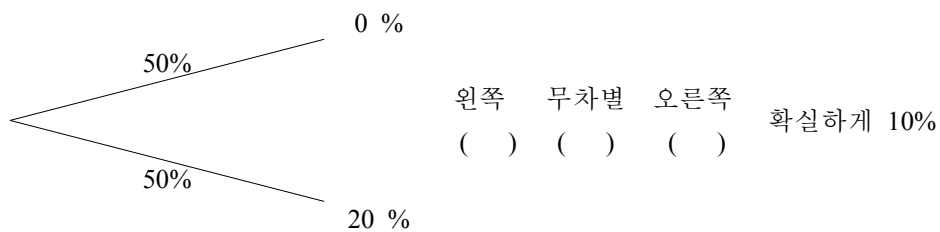
(1-1.3) '어업피해' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 발생하는 연근해 어업과 양식업의 피해로 가장 좋은 수준은 0 %이며, 가장 나쁜 수준은 20 %로 합니다.(1999년도 어업 생산액 = 약 2조 1천억원(경상가격))



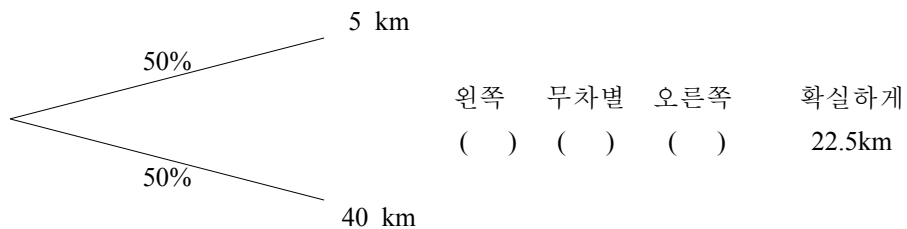
(1-1.4) '재료피해' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 발생하는 금속, 대리석, 시멘트(정상상태 4년), 페인트(정상상태 40년) 등 재료의 수명감소로 가장 좋은 수준은 0 %이며, 가장 나쁜 수준은 20 %로 합니다.



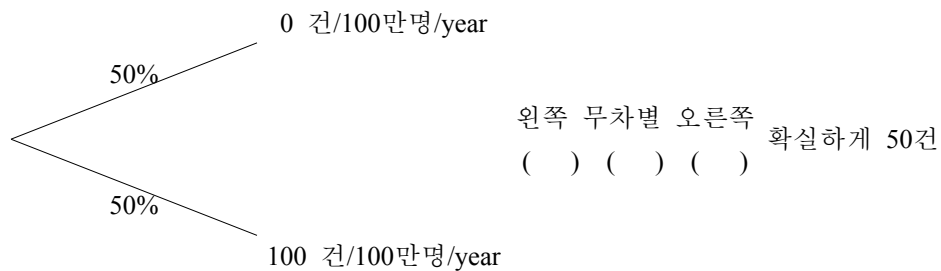
(1-1.5) '가시거리피해' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 발생하는 가시거리 감소 피해로 가장 좋은 수준은 5 km이며, 가장 나쁜 수준은 40 km로 합니다.



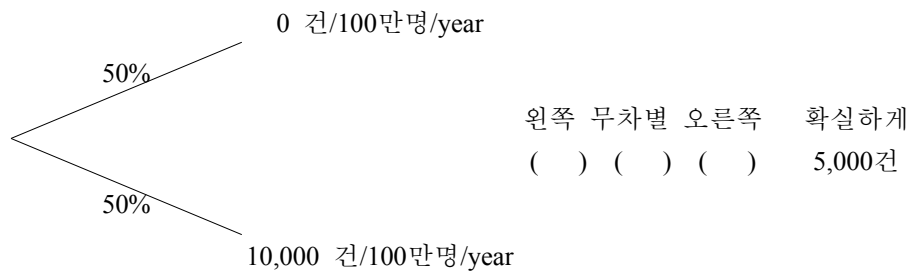
(1-1.6.1) '사망위험' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 추가로 발생하는 연간 호흡기질환(주로 폐암) 사망자 수로 가장 좋은 수준은 0 건/100만명/year이며, 가장 나쁜 수준은 100 건/100만명/year로 합니다.



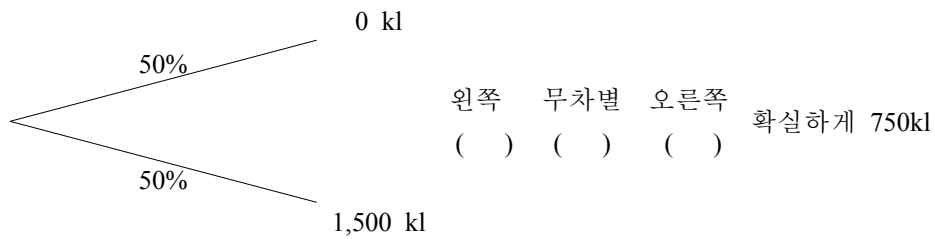
(1-1.6.2) '질병위험' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 추가로 발생하는 연간 호흡기질환(주로 폐질환) 환자 수로 가장 좋은 수준은 0 건/100만명/year이며, 가장 나쁜 수준은 10,000 건/100만명/year로 합니다.



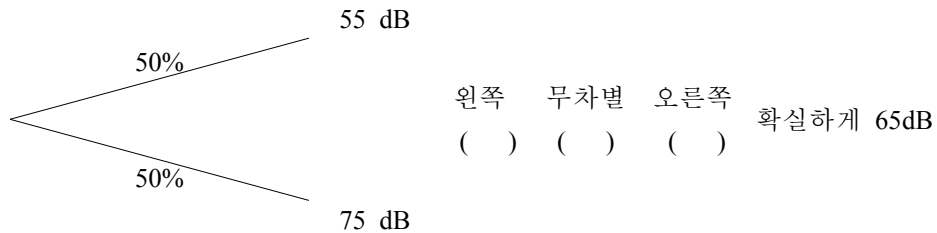
(1-2) '수질오염' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 발생하는 수질오염피해로 가장 좋은 수준은 0 kl이며, 가장 나쁜 수준은 1,500 kl로 합니다.



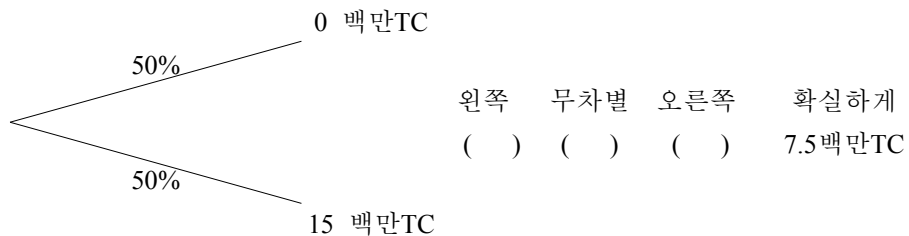
(1-3) '소음피해' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 발생하는 소음피해로 가장 좋은 수준은 55 dB이며, 가장 나쁜 수준은 75 dB로 합니다.



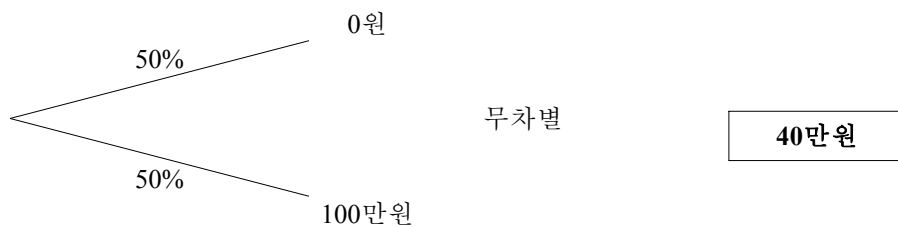
(1-4) '지구온난화' 속성에 관한 질문입니다. 어느 상태를 더 좋아하십니까?

육상운송과 해상운송에 의해 발생하는 연간 이산화탄소 배출량으로 가장 좋은 수준은 0 백만TC이며, 가장 나쁜 수준은 15 백만TC로 합니다.

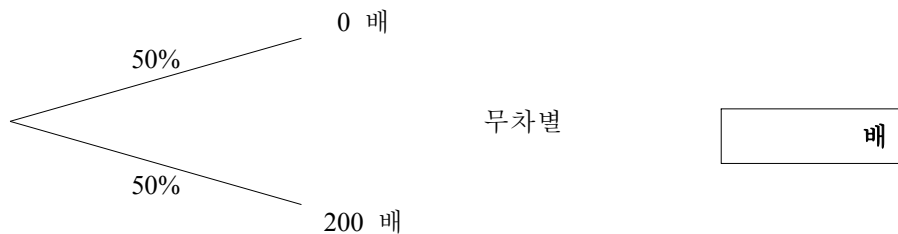


(질문 2) 귀하가 판단하시기에 각 속성범위의 양끝값에 대해 50%-50%의 확률로 기대되는 상태와 차이가 없도록 하는 확실한 상태의 값은 얼마입니까? 네모 안에 적절한 값을 써 주십시오.

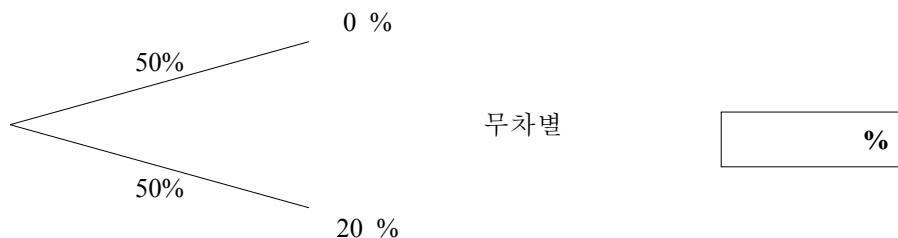
질문의 형태와 대답하시는 요령은 다음과 같습니다. 귀하께서 생각하시기에 각각 50%의 확률로 발생하는 0원과 100만원의 상태와 차이가 없는 확실하게 발생하는 값이 40만원이라고 생각하시면, 네모 안에 40만원을 기입하시면 됩니다.



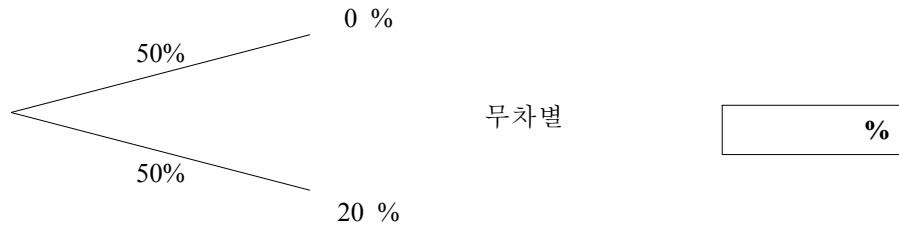
(2-1.1) ‘산림피해’ 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



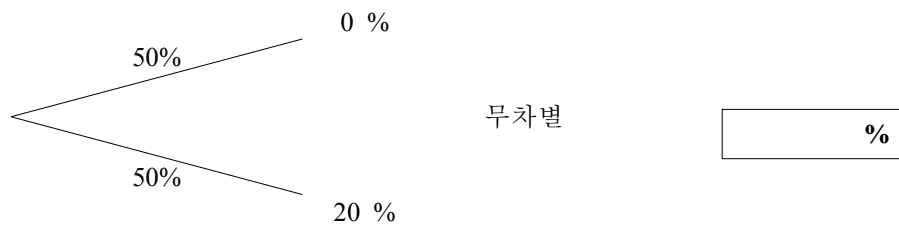
(2-1.2) ‘농업피해’ 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



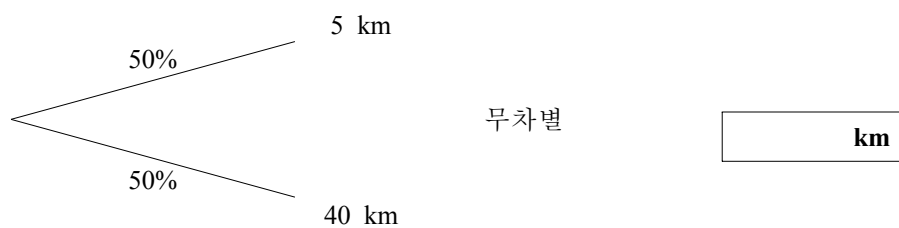
(2-1.3) ‘어업피해’ 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



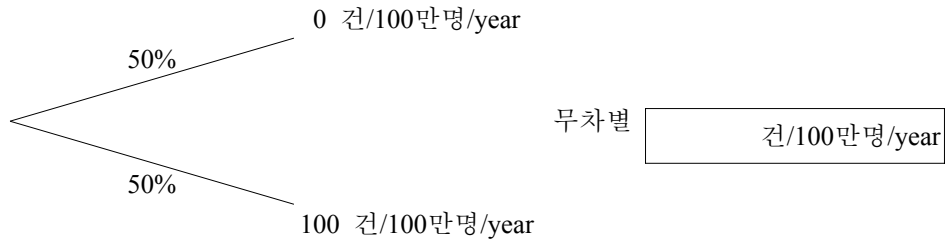
(2-1.4) ‘재료피해’ 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



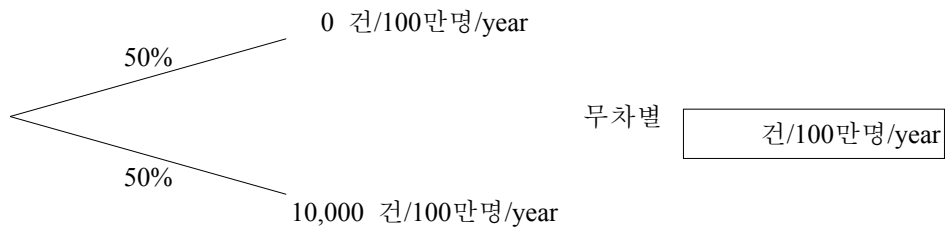
(2-1.5) ‘가시거리피해’ 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



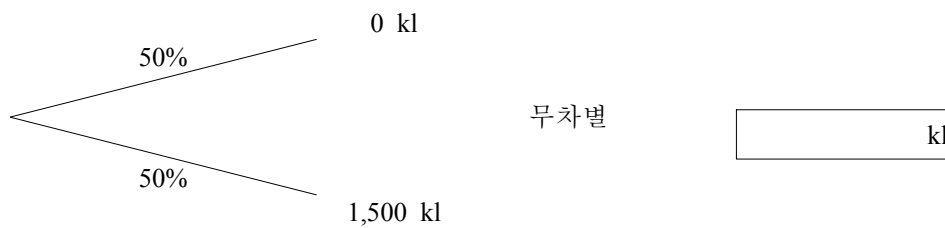
(2-1.6.1) '사망률' 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



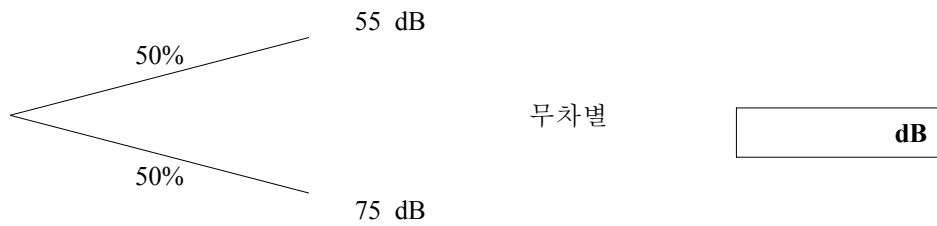
(2-1.6.2) '질병률' 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



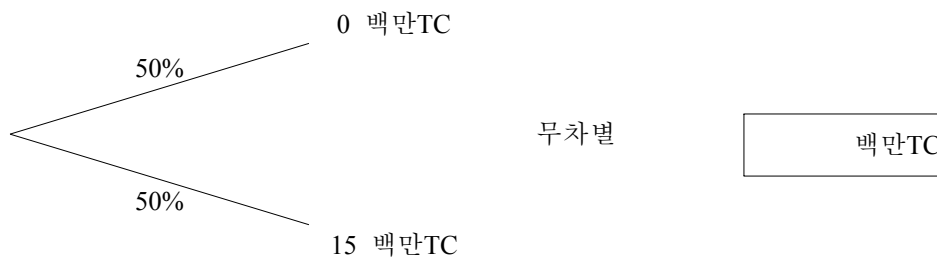
(2-2) '수질오염' 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



(2-3) '소음' 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



(2-4) '지구온난화' 속성에 관한 질문입니다. 왼쪽 상태와 오른쪽 상태가 차이가 없도록 만들어주는 오른쪽 상태의 값은 얼마입니까?



(질문 3) 육상운송과 해상운송의 환경훼손비용 속성항목들에 대해 귀하가 얼마나 중요하게 생각하시는 지를 알고자 하는 질문입니다. 응답하시는 절차는 다음의 두 단계로 이루어집니다.

1단계 : 아래의 속성항목을 참고하시어, 각 항목내의 모든 평가항목이 가장 나쁜 수준에서 가장 좋은 수준으로 개선된다고 했을 때, 귀하께서 생각하시는 중요도의 순서대로 항목의 이름을 차례대로 적어 주십시오. 즉, 어느 항목보다도 우선적으로 가장 나쁜 수준에서 가장 좋은 수준으로 변화시키고 싶은 항목을 적어주시고, 그 다음으로 변화시키고 싶은 항목을 적어주시면 됩니다.

2단계 : 1단계에서 평가하신 중요도의 순서에 대해 얼마나 더 중요하게 생각하시는 지를 알고자 합니다. 먼저 귀하께서 가장 중요하다고 하셨던 항목에 대해 100의 점수를 할당합니다. 첫 번째 항목의 점수가 100일 때, 귀하께서 두 번째로 중

요하다고 하셨던 항목의 중요도는 상대적으로 얼마나 되는지를 두 번째 줄에 적어 주십시오. 세 번째 줄 이하도 마찬가지입니다. 물론 각 점수들은 100보다 작을 것이며 아래로 내려감에 따라 점점 감소할 것입니다.

이해가 되시면 아래의 최종속성집합들을 참고하시어 다음 페이지로 넘어가 주십시오. 이해가 안되시면 질문해 주십시오.

최종 속성집합	
1. 대기오염(Air Pollution)	1.1 산림피해(Forest Damage)
	1.2 농업피해(Agricultural Damage)
	1.3 어업피해(Fishery Damage)
	1.4 재료피해(Material Damage)
	1.5 가시거리피해(Visibility Loss Damage)
	1.6 건강피해 1.6.1 사망률(Mortality) 1.6.2 질병률(Morbidity)
2. 수질오염(Water Pollution)	
3. 소음(Noise)	
4. 지구온난화(Global Warming)	

(질문 3-1) 질문의 첫 단계입니다. 각 속성들을 전체적으로 파악할 때 귀하에게 얼마나 중요한지를 알고자 하는 질문입니다. 이제 앞 페이지의 총 10개의 속성들을 참고하시어, 각 속성이 가장 나쁜 수준에서 가장 좋은 수준으로 개선된다고 했을 때, 귀하께서 생각하시는 중요도의 순서대로 10개 속성의 이름을 차례대로 적어 주십시오.

속 성 이 름

(1번째 선택) _____

(2번째 선택) _____

(3번째 선택) _____

(4번째 선택) _____

(5번째 선택) _____

(6번째 선택) _____

(7번째 선택) _____

(8번째 선택) _____

(9번째 선택) _____

(10번째 선택) _____

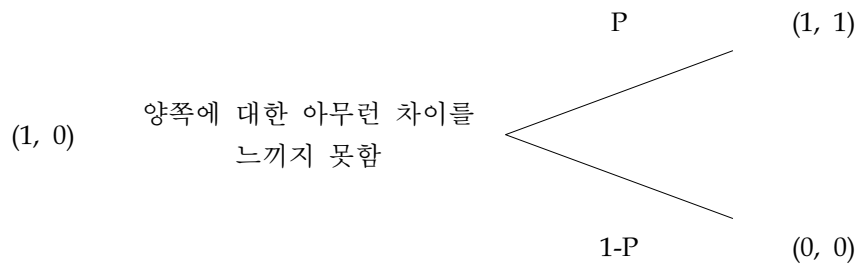
(질문 3-2) 귀하께서 적어주신 순서에 근거하여 두 개씩 상대적 중요도를 비교하는 부분입니다. 먼저 앞페이지를 참고하시어 다시 한번 중요도의 순서대로 선택된 속성의 이름을 적어주십시오. 다음으로 모든 속성이 가장 나쁜 수준에서 가장 좋은 수준으로 개선된다고 할 때, 왼쪽 속성의 중요도를 100이라 하면, 오른쪽 속성의 상대적 중요도(0~100)는 얼마나 되는지를 적어주십시오.

_____	100	_____	
(1번째 선택 속성이름)	(중요도)	(2번째 선택 속성이름)	(중요도)
_____	100	_____	
(2번째 선택 속성이름)	(중요도)	(3번째 선택 속성이름)	(중요도)
_____	100	_____	
(3번째 선택 속성이름)	(중요도)	(4번째 선택 속성이름)	(중요도)
_____	100	_____	
(4번째 선택 속성이름)	(중요도)	(5번째 선택 속성이름)	(중요도)
_____	100	_____	
(5번째 선택 속성이름)	(중요도)	(6번째 선택 속성이름)	(중요도)
_____	100	_____	
(6번째 선택 속성이름)	(중요도)	(7번째 선택 속성이름)	(중요도)
_____	100	_____	
(7번째 선택 속성이름)	(중요도)	(8번째 선택 속성이름)	(중요도)
_____	100	_____	
(8번째 선택 속성이름)	(중요도)	(9번째 선택 속성이름)	(중요도)
_____	100	_____	
(9번째 선택 속성이름)	(중요도)	(10번째 선택 속성이름)	(중요도)

(질문 3-3) 이번 질문은 동일한 영향을 받는 세부속성들을 계산하기 위한 질문입니다. 아래에 건강피해 속성의 세부속성들이 다시 제시되어 있습니다. 작성방법은 일단 귀하께서 응답하신 각 항목들의 중요도를 참고하시고 다음의 가상적 상황에 대한 질문으로 넘어가 주십시오.

1.6.1 사망률
1.6.2 질병률

다음에 가상적인 상황이 주어지겠습니다. 첫 번째는 사망률에 대한 수준이 최대한으로 이루어지고 질병률이 최저의 수준인 상황입니다. 두 번째는 사망률과 질병률 모두 최대한의 수준으로 이루어진 상황입니다. 마지막으로 세 번째는 두 가지의 경우가 모두 최저의 수준인 상황입니다. 귀하가 생각하시기에 두 번째의 상황이 확률 P 로 실현되고 세 번째의 상황이 확률 $1-P$ 로 실현된다고 한다면, 과연 확률 P 의 값이 어느 정도이면 첫 번째의 상황과 무차별하다고 보십니까? 그림으로 나타내면 다음과 같습니다.



그림에서 숫자 1은 최대의 상황을 뜻하고, 0은 최저의 상황을 나타냄.

(질문 3-4) 이번 질문은 각각의 속성들이 육상과 해상에 미치는 영향을 비교하는 부분입니다. 각각의 속성들에서 환경적으로 영향을 미치는 정도가 육상과 해상에 어느 정도인지를 총합이 100%가 되도록 육상과 해상에 분배해 주시기 바랍니다.

속성 \ 육상, 해상	육상	해상
1.1 산림피해	%	%
1.2 농업피해	%	%
1.3 어업피해	%	%
1.4 재료피해	%	%
1.5 가시거리피해	%	%
1.6.1 사망률	%	%
1.6.2 질병률	%	%
2. 수질오염	%	%
3. 소음	%	%
4. 지구온난화	%	%

(질문 4) 해상운송과 육상운송에 의해 발생하는 환경속성항목들에 대한 화폐가치를 도출하기 위한 질문입니다.

(질문 4-1) 귀하 가구의 월평균 교통비는 얼마입니까?(단, 자가용인 경우는 인테리어, 세차, 보험, 세금 등을 제외하고 연료비와 주차비만 적어주십시오)

원

(질문 4-2) 귀하 가구의 월평균 전기료는 얼마입니까?

원

이제 귀하가 앞에서 가장 중요하게 생각한다고 적어주신 속성의 이름과 그 속성의 가장 싫어하는 수준과 가장 좋아하는 수준을 다시 한번 적어 주십시오.

가장 중요한 속성

가장 싫어하는 수준

가장 좋아하는 수준

(질문 4-3) 속성들 가운데 귀하가 **가장 중요하게 생각하시는 속성만** 가장 싫어하는 수준에서 가장 좋아하는 수준으로 개선될 수 있다면, 귀하의 가구는 얼마를 부담하실 의사가 있습니까? 또한 귀하는 총 10개의 속성 중 가장 중요하게 생각하시는 속성만을 대상으로 함을 다시 한번 유념해 주십시오. 즉 나머지 속성에 대해 지불할 금액(남겨두셔야 할 금액)과 귀하의 월평균 소득, 월평균 지출을 고려한 후 대답해 주십시오.

원

(질문 4-4) 이제 **10개의 속성 모두가** 가장 싫어하는 수준에서 가장 좋아하는 수준으로 개선될 수 있다면, 귀하의 가구는 얼마를 부담하실 의사가 있습니까?

원

(질문 5) 해상운송, 육상운송의 환경훼손비용 속성항목들에 대한 사회적가치를 묻는 질문입니다.

경제학에서 언급되는 지불의사액(Willingness To Pay)과의 혼동을 피하기 위해서 사회적 가치의 개념에 대해서 잠시 설명 드리겠습니다. 지불의사액이란 특정 수준의 환경질개선을 위해 대표적 가구가 현재의 조세수준에 추가적으로 지불할 의사가 있는 금액으로 그 가구의 소득수준에 따라 그 수준이 결정됩니다. 반면에 사회적 가치(Societal Value)는 특정 수준의 환경질개선을 위해 대표적 가구의 조세의 관점에서 사회가 얼마나 지불해야 하는가를 의미하는 것으로 개별가구의 지불능력과 무관하게 사회적으로 볼 때 바람직한 가치입니다.

저희는 물류·환경전문가로서의 귀하의 입장에서 평가한 해상운송 및 육상운송에 의해 야기되는 환경훼손비용에 대한 사회적 가치에 관심을 가지고 있습니다. 가치는 4인 가족 기준의 대표적 가구에 대해 재산세를 이용하여 대답해 주시됩니다. 이때 개별 가구의 지불능력(소득)은 고려하실 필요가 없습니다. 즉 해당 금액을 사회가 부담하는 것으로 생각하시면 되고 서울지역 25평 아파트 소유주가 부담하는 연 평균 재산세액 100,000원으로 생각하십시오.

다시 한번 말씀드리고 싶은 점은 저희는 개별 가구의 지불의사액이 아닌 귀하가 평가하시는 사회적으로 바람직한 가치, 즉 사회적 가치에 관심을 가지고 있습니다. 따라서 이 사회적 가치를 재산세부담액의 인상과 관련지어 생각하지 마십시오. 사회적 가치는 눈에 명확하게 보이지는 않지만 사회가 부담하고 있는 가치로 개별 주택의 소유주가 부담하는 재산세와는 무관한 개념입니다.

예컨대 ○○산이 국가 전체로 볼 때 4천만원의 사회적 가치가 있다고 하면, 우리나라는 국민이 4천만명이므로, 국민 1인당 1원의 사회적 가치가 있는 것이며, 4인 가족 가구 기준으로 본다면 4원의 사회적 가치가 있는 것입니다. 또한 이 사회적 가치를 눈에 보이는 형태로 나타낸다면 ○○산에 대한 입장료가 될 것입니다. 물론 사회적 가치가 입장료가 되는 것은 아닙니다. 산의 사회적 가치를 평가하는데 입장료가 도입되는 것은 입장료가 산의 사회적 가치를 평가하는데 도움을 주며, 눈에 보이고, 친숙한, 현실적인 매개체이기 때문이지 입장료의 산정을 위한 것은 아닙니다. 오히려 산림을 보호할 근거가 마련되며, 산림보호정책수립에 기여하게 될 것입니다. 마찬가지로 저희는 ○○산에 대응하는 환경영향의 사회적 가치를 입장료에 대응하는 재산세 수준으로 평가하고자 하는 것입니다.

이해가 되셨다면 다음 질문에 대답해 주십시오. 만약 이해가 안 되시면 질문을 해 주시기 바랍니다.

(질문 5-1) 각 속성의 수준을 가장 나쁜 수준에서 가장 좋은 수준으로 개선하는데 대해 사회적으로 받아들일만한 적절한 연 재산세 수준은 얼마입니까? 즉 연 재산세 납부액을 기준으로 가치를 판단할 때 얼마가 적절합니까? 이 때 해당 속성만 수준이 변하며, 나머지 모든 속성들은 전혀 변화가 없음을 주의해 주십시오.

속 성	단위	가장 나쁜 수준	가장 좋은 수준	재산세 납부액 (25평 소유주 10만원) 으로 평가한 바람직한 사회적 가치
1.1 산림피해	배	200	0	_____ 원
1.2 농업피해	%	20	0	_____ 원
1.3 어업피해	%	20	0	_____ 원
1.4 재료피해	%	20	0	_____ 원
1.5 가시거리피해	km	40	5	_____ 원
1.6.1 사망률	건/100만명/year	100	0	_____ 원
1.6.2 질병률	건/100만명/year	10,000	0	_____ 원
2. 수질오염	kl	1,500	0	_____ 원
3. 소음	dB(A)	75	55	_____ 원
4. 지구온난화	백만TC/year	15	0	_____ 원

(질문 5-2) 각 속성의 수준을 한단위 개선하는 데 대해 사회적으로 받아들일만한 적절한 연 재산세 수준은 얼마입니까? 즉 연 재산세 납부액을 기준으로 가치를 판단할 때 얼마가 적절합니까? 이 때 해당 속성만 수준이 변하며, 나머지 모든 속성들은 전혀 변화가 없음을 주의해 주십시오. 귀하께서는 (질문 5-1)에서 가장 나쁜 수준에서 가장 좋은 수준으로 개선될 때의 사회적 가치에 대해 이미 대답하셨다는 점에 주의해 주십시오.

속 성	단위	가장 나쁜 수준	가장 좋은 수준	재산세 납부액 (25평 소유주 10만원) 으로 평가한 바람직한 사회적 가치
1.1 산림피해	배	200	0	_____ 원
1.2 농업피해	%	20	0	_____ 원
1.3 어업피해	%	20	0	_____ 원
1.4 재료피해	%	20	0	_____ 원
1.5 가시거리피해	km	40	5	_____ 원
1.6.1 사망률	건/100만명/year	100	0	_____ 원
1.6.2 질병률	건/100만명/year	10,000	0	_____ 원
2. 수질오염	kl	1,500	0	_____ 원
3. 소음	dB(A)	75	55	_____ 원
4. 지구온난화	백만TC/year	15	0	_____ 원

※ 오랜 시간 설문에 응해주셔서 대단히 감사합니다. 본 설문과 관련하여 의견이 있으시면 말씀해 주십시오.

※ 다음 사항을 적어주시면 감사하겠습니다.

1. 성별 : ☐ 남자 ☐ 여자 2. 결혼유무 : ☐ 기혼 ☐ 미혼
3. 자동차 소유유무 : ☐ 있다 ☐ 없다 4. 가구주여부 : ☐ 그렇다 ☐ 아니다
5. 최고교육수준 : ☐ 무학 ☐ 국졸 ☐ 중졸 ☐ 고졸 ☐ 전문대졸 ☐ 4년제 대졸
☐ 대학원 석사졸 ☐ 대학원 박사졸 ☐ 기타(중퇴)
6. 환경단체 가입여부 : ☐ 가입 ☐ 비가입
7. 본인의 연령(세대) : _____ 대
8. 가족 구성원수 : _____ 명
9. 본인의 세후 월평균소득 : _____ 원
10. 기관 : _____
11. 부서 : _____
12. 연락처: 전화 _____ 팩스 _____ 성명 _____

부록 2 : 개인별 단일속성 효용함수

개인별 단일속성 효용함수 1

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.01219x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.01219x_{12})$	위험 선호
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = -0.38583 + 1.38583 \exp(-0.06393x_{14})$	위험 선호
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = -0.5431 + 1.5431 \exp(-0.02611x_{15})$	위험 선호
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.19778 + 1.19778 \exp(-0.01801x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = -0.78406 + 1.78406 \exp(-0.00082x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = -0.07291 + 1.07291 \exp(-0.01793x_2)$	위험 선호
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 4.26114 - 3.26114 \exp(0.01783x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 2

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.01219x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{12})$	위험 선호
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{13})$	위험 선호
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{14})$	위험 선호
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = -0.5431 + 1.5431 \exp(-0.02611x_{15})$	위험 선호
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1 - 0.01x_{161}$	위험 중립
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1 - 0.0001x_{162}$	위험 중립
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1 - 0.00067x_2$	위험 중립
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 3.75 - 0.05x_3$	위험 중립
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = -0.30902 + 1.30902 \exp(-0.09624x_4)$	위험 선호

개인별 단일속성 효용함수 3

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.01219x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1 - 0.05x_{12}$	위험 중립
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1 - 0.05x_{13}$	위험 중립
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1 - 0.05x_{14}$	위험 중립
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.06094x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1 - 0.01x_{161}$	위험 중립
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.19778 - 0.19778 \exp(-0.18011x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = -0.00003 + 1.00003 \exp(-0.069312x_2)$	위험 선호
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1 - 0.06667x_4$	위험 중립

개인별 단일속성 효용함수4

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.38583 - 0.38583 \exp(0.00639x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{12})$	위험 선호
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = -0.38583 + 1.38583 \exp(-0.06393x_{14})$	위험 선호
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.06094x_{15})$	위험 선호
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1.03905 - 0.03905 \exp(0.03281x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.38583 - 0.38583 \exp(0.01279x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = -0.12345 + 1.12345 \exp(-0.14722x_2)$	위험 선호
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.09624x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 5

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = -0.01067 + 1.01067 \exp(-0.02275x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = -0.01067 + 1.01067 \exp(-0.22755x_{12})$	위험 선호
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1 - 0.05x_{13}$	위험 중립
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1 - 0.05x_{14}$	위험 중립
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.14286 - 0.02857x_{15}$	위험 중립
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.00099 + 1.00099 \exp(-0.06922x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = -0.00099 + 1.00099 \exp(-0.69216x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = -0.00580 + 1.00580 \exp(-0.34370x_2)$	위험 선호
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.09624x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 6

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1 - 0.005x_{11}$	위험 중립
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1 - 0.005x_{12}$	위험 중립
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1 - 0.005x_{13}$	위험 중립
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1 - 0.005x_{14}$	위험 중립
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.14286 - 0.02857x_{15}$	위험 중립
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.78406 + 1.78406 \exp(-0.08222x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = -0.78406 + 1.78406 \exp(-0.08222x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = -3.26114 + 4.26114 \exp(-0.01783x_2)$	위험 선호
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.03905 - 0.03905 \exp(0.04375x_3)$	위험 선호
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = -0.78406 + 1.78406 \exp(-0.05481x_4)$	위험 선호

개인별 단일속성 효용함수 7

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = -0.01067 + 1.01067 \exp(-0.02275x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{14})$	위험 선호
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.00405 - 0.00405 \exp(0.13782x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1.19778 - 0.19778 \exp(0.18011x_{161})$	위험 기피
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.08222x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 4.26114 - 3.26114 \exp(0.01783x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.09624x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 8

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = -2.01676 + 3.01676 \exp(-0.02013x_{12})$	위험 선호
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1 - 0.05x_{13}$	위험 중립
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.38583 - 0.38583 \exp(0.06393x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.54310 - 0.54310 \exp(0.02611x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.00099 + 1.00099 \exp(-0.69216x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.19778 - 0.19778 \exp(0.18011x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = -0.03905 + 1.03905 \exp(-0.21875x_2)$	위험 선호
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.03905 - 0.03905 \exp(0.04375x_3)$	위험 선호
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = -0.48369 + 1.48369 \exp(-0.00747x_4)$	위험 선호

개인별 단일속성 효용함수 9

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = -0.78406 + 1.78406 \exp(-0.04111x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{12})$	위험 선호
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{13})$	위험 선호
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.00099 - 0.00099 \exp(0.34608x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.00099 - 0.00099 \exp(0.17304x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1 - 0.01x_{161}$	위험 중립
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1 - 0.01x_{162}$	위험 중립
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1 - 0.00067x_2$	위험 중립
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.69312x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 10

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = -0.38583 + 1.38583 \exp(-0.06393x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{14})$	위험 선호
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.54310 - 0.54310 \exp(0.02611x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.03905 + 1.03905 \exp(-0.32813x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = -0.03905 + 1.03905 \exp(-0.32813x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1.00580 - 0.00580 \exp(0.34370x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.00580 - 0.00580 \exp(0.34370x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 11

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.00099 - 0.00099 \exp(0.03461x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.00405 - 0.00405 \exp(0.13782x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1.00099 - 0.00099 \exp(0.69216x_{161})$	위험 기피
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.00099 - 0.00099 \exp(0.69216x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1.00580 - 0.00580 \exp(0.34370x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.00580 - 0.00580 \exp(0.34370x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 12

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.04111x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.38583 - 0.38583 \exp(0.06393x_{14})$	위험 선호
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.54310 - 0.54310 \exp(0.02611x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1.19778 - 0.19778 \exp(0.18011x_{161})$	위험 기피
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.19778 - 0.19778 \exp(0.18011x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.09624x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.01219x_3)$	위험 선호
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.05481x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 13

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1 - 0.05x_{14}$	위험 중립
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.14286 - 0.02857x_{15}$	위험 중립
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.03905 + 1.03905 \exp(-0.32813x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = -0.00099 + 1.00099 \exp(-0.69216x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1 - 0.00067x_2$	위험 중립
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 3.75 - 0.05x_3$	위험 중립
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.09624x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 14

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.01067 - 0.01067 \exp(0.22755x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{12})$	위험 선호
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.04111x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = -2.01676 + 3.01676 \exp(-0.02013x_{14})$	위험 선호
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.60938x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.19778 + 1.19778 \exp(-0.18011x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.02438x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.09624x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.0006 - 0.0006 \exp(0.09894x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.05481x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 15

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.04111x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.04111x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.38583 - 0.38583 \exp(0.06393x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.38583 - 0.38583 \exp(0.06393x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.19778 - 0.19778 \exp(0.04503x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.78406 + 1.78406 \exp(-0.08222x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = -2.98023 + 1 \exp(-0.17329x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 2.39743 - 1.39743 \exp(0.00360x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 3.75 - 0.05x_3$	위험 중립
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 2.39743 - 1.39743 \exp(0.00360x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 16

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.60938x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.02438x_{161})$	위험 기피
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.19778 - 0.19778 \exp(0.18011x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.09624x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.30905 - 0.03905 \exp(0.21875x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 17

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = -0.09574 + 1.09574 \exp(-0.12188x_{11})$	위험 선호
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.38583 - 0.38583 \exp(0.06393x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.14286 - 0.02857x_{15}$	위험 중립
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = -0.00099 + 1.00099 \exp(-0.69216x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = -1.60992 + 1 \exp(-0.69315x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.05481x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.01925x_3)$	위험 선호
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 4.26114 - 3.26114 \exp(0.01783x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 18

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 3.01676 - 2.01676 \exp(0.02013x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.04111x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.04111x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.04111x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.54310 - 0.54310 \exp(0.02611x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1.03905 - 0.03905 \exp(0.32813x_{161})$	위험 선호
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.03905 - 0.03905 \exp(0.32813x_{162})$	위험 선호
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 4.26114 - 3.26114 \exp(0.01783x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00003 - 0.00003 \exp(0.13862x_3)$	위험 선호
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 1.00003 + 0.00003 \exp(-0.69312x_4)$	위험 선호

개인별 단일속성 효용함수 19

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.12188x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.09574 - 0.09574 \exp(0.60938x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.08222x_{161})$	위험 기피
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.08222x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = 1.30902 - 0.30902 \exp(0.09624x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00580 - 0.00580 \exp(0.06874x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 4.26114 - 3.26114 \exp(0.01783x_4)$	위험 기피

개인별 단일속성 효용함수 20

속 성	함 수	함수 성격
산림피해(x_{11})	$u_{11}(x_{11}) = 3.01676 - 2.01676 \exp(0.02013x_{11})$	위험 기피
농업피해(x_{12})	$u_{12}(x_{12}) = 3.01676 - 2.01676 \exp(0.02013x_{12})$	위험 기피
어업피해(x_{13})	$u_{13}(x_{13}) = 3.01676 - 2.01676 \exp(0.02013x_{13})$	위험 기피
재료피해(x_{14})	$u_{14}(x_{14}) = 3.01676 - 2.01676 \exp(0.02013x_{14})$	위험 기피
가시거리피해(x_{15})	$u_{15}(x_{15}) = 1.54310 - 0.54310 \exp(0.02611x_{15})$	위험 기피
사망률(x_{161})	$u_{161}(x_{161}) = 1.78406 - 0.78406 \exp(0.08222x_{161})$	위험 기피
질병률(x_{162})	$u_{162}(x_{162}) = 4.67669 - 3.67669 \exp(0.00241x_{162})$	위험 기피
수질오염(x_2)	$u_2(x_2) = -0.05421 + 1.05421 \exp(-0.00198x_2)$	위험 기피
소음(x_3)	$u_3(x_3) = 1.00319 - 0.00319 \exp(0.07666x_3)$	위험 기피
지구온난화(x_4)	$u_4(x_4) = 4.26114 - 3.26114 \exp(0.01783x_4)$	위험 기피